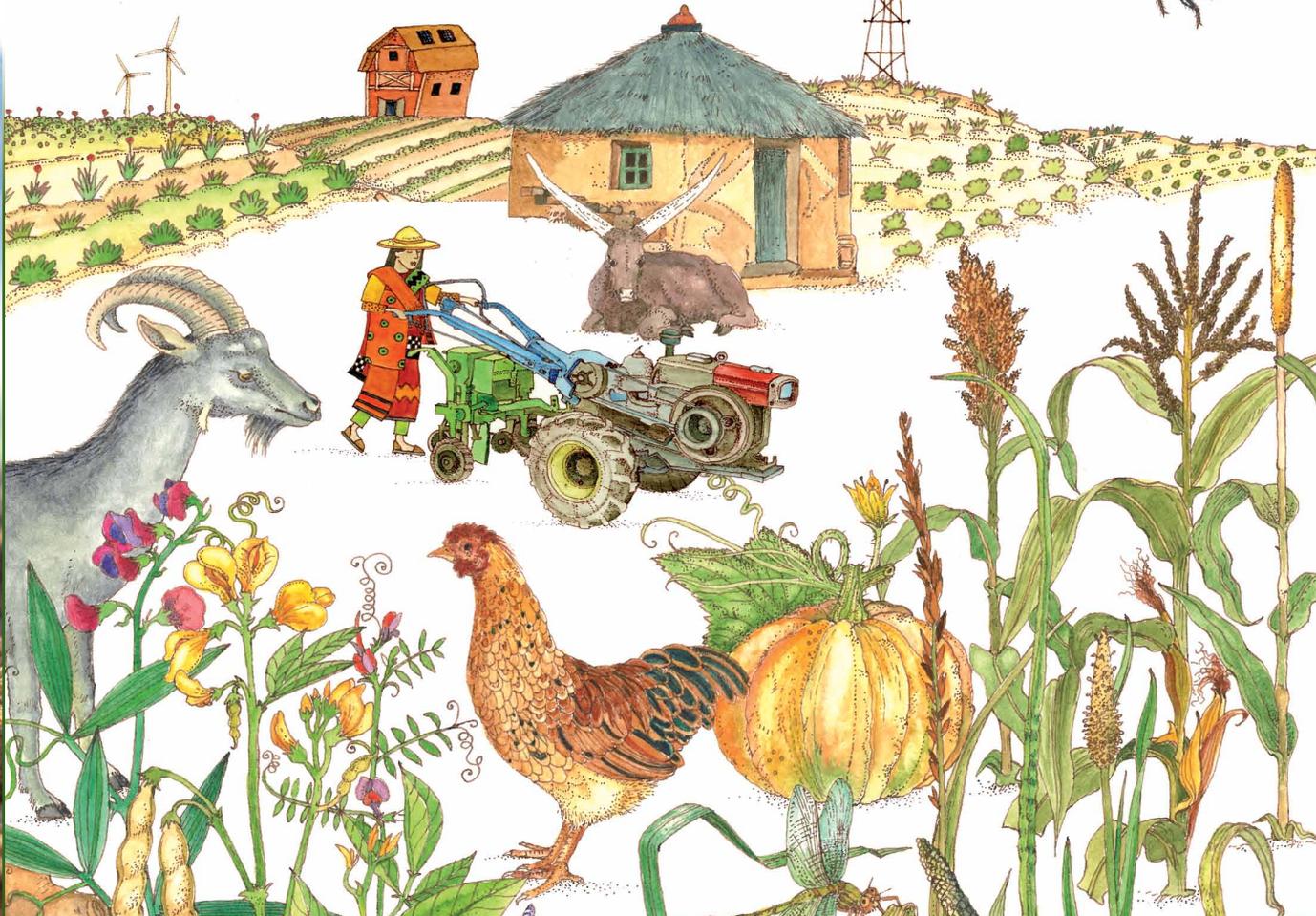




Organisation des Nations Unies
pour l'alimentation et l'agriculture



L'AGROÉCOLOGIE POUR LA SÉCURITÉ ALIMENTAIRE ET LA NUTRITION

COMPTE-RENDU DU SYMPOSIUM INTERNATIONAL DE LA FAO

18-19 septembre 2014, Rome, Italie

UNE SÉLECTION DE CHAPITRES EXTRAITS DE
LA PUBLICATION EN LANGUE ANGLAISE
AGROECOLOGY FOR FOOD SECURITY AND NUTRITION

LA BIODIVERSITÉ ET LES SERVICES AGROSYSTÉMIQUES DANS LES SYSTÈMES DE PRODUCTION AGRICOLE

L'AGROÉCOLOGIE POUR LA SÉCURITÉ ALIMENTAIRE ET LA NUTRITION



COMPTE-RENDU DU SYMPOSIUM INTERNATIONAL DE LA FAO

18-19 septembre 2014, Rome, Italie

UNE SÉLECTION DE CHAPITRES EXTRAITS DE
LA PUBLICATION EN LANGUE ANGLAISE
AGROECOLOGY FOR FOOD SECURITY AND NUTRITION



Les appellations employées dans ce produit d'information et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) aucune prise de position quant au statut juridique ou au stade de développement des pays, territoires, villes ou zones ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites. La mention de sociétés déterminées ou de produits de fabricants, qu'ils soient ou non brevetés, n'entraîne, de la part de la FAO, aucune approbation ou recommandation desdits produits de préférence à d'autres de nature analogue qui ne sont pas cités.

Les opinions exprimées dans ce produit d'information sont celles du/des auteur(s) et ne reflètent pas nécessairement les vues ou les politiques de la FAO.

ISBN 978-92-5-208807-3

© FAO, 2015

La FAO encourage l'utilisation, la reproduction et la diffusion des informations figurant dans ce produit d'information. Sauf indication contraire, le contenu peut être copié, téléchargé et imprimé aux fins d'étude privée, de recherches ou d'enseignement, ainsi que pour utilisation dans des produits ou services non commerciaux, sous réserve que la FAO soit correctement mentionnée comme source et comme titulaire du droit d'auteur et à condition qu'il ne soit sous-entendu en aucune manière que la FAO approuverait les opinions, produits ou services des utilisateurs.

Toute demande relative aux droits de traduction ou d'adaptation, à la revente ou à d'autres droits d'utilisation commerciale doit être présentée au moyen du formulaire en ligne disponible à www.fao.org/contact-us/licence-request ou adressée par courriel à copyright@fao.org.

Les produits d'information de la FAO sont disponibles sur le site web de la FAO (www.fao.org/publications) et peuvent être achetés par courriel adressé à publications-sales@fao.org.

La présente publication consiste en la traduction d'une sélection de chapitres extraits de la publication *Agroecology for Food Security and Nutrition: Proceedings of the FAO International Symposium*. Son texte complet en langue anglaise est disponible sur: www.fao.org/3/a-i4729e.pdf

TABLE DE MATIÈRES



REMERCIEMENTS..... iv

Introduction - L'Agroécologie: un mouvement global pour la sécurité et la souveraineté alimentaires
Stephen R. Gliessman 1

01 Sécurité alimentaire et services agroécosystémiques dans un monde en mutation: le moment est venu pour l'agroécologie
Pablo Tittonell 16

02 Améliorer le fonctionnement et la fourniture des services écosystémiques en agriculture; principes de l'agroécologie
Etienne Hainzelin 36

03 Créer des cycles vertueux dans les systèmes de petites exploitations grâce à l'agroécologie
Paul Mapfumo, Florence Mtambanengwe, Hatirarami Nezomba, Tongai Mtangadura, Grace Manzeke, Christopher Chagumaira, Tariro Gwandu, Tinashe Mashavave, Jairos Rurinda..... 54

04 L'agroécologie: concevoir des systèmes de production résilients au changement climatique pour les petits paysans des pays en voie de développement
Clara I. Nicholls, Miguel A. Altieri..... 80



REMERCIEMENTS

La FAO tient à remercier tous ceux qui ont contribué à la réussite du Symposium international sur l'agroécologie pour la sécurité alimentaire et la nutrition, tenue au siège de la FAO à Rome les 18-19 Septembre 2014. Merci aux participants, conférenciers, délégués, au Secrétariat et à tous ceux qui ont travaillé dans les coulisses sur de nombreux aspects - sans leurs contributions le Symposium international n'aurait pas été possible.

En particulier, nous remercions l'appui de la France et de la Suisse, qui ont fourni des contributions financières au Symposium international à travers le Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt, du Développement et Coopération suisse et de l'Office fédéral de l'agriculture de la Suisse.

Un remerciement spécial aux membres du Comité scientifique, Miguel Altieri, Irene Cardoso, Barbara Gemmill-Herren, Etienne Hainzelin, Salman Hussain, Masa Iwanaga, Paul Mapfumo, Ephraim Nkonya, Jean-François Soussana, Pablo Tittone et Fusuo Zhang pour leur leadership afin de jeter les bases pour le Symposium international et ces Comptes rendus.

Les illustrations de cette publication sont de Guida Joseph. La conception graphique est réalisée par le Studio Bartoleschi. Les débats ont été édités par Soren Moller.



INTRODUCTION

L'AGROÉCOLOGIE: UN MOUVEMENT GLOBAL POUR LA SÉCURITÉ ET LA SOUVERAINETÉ ALIMENTAIRES

Stephen R. Gliessman

Professeur émérite d'Agroécologie, Université de Californie, Santa Cruz, CA, États-Unis

Courriel: gliess@ucsc.edu

Une des définitions les plus complètes à ce jour de l'agroécologie est «l'écologie du système alimentaire» (Francis *et al.*, 2003). Elle a pour objectif affirmé la transformation des systèmes alimentaires vers la durabilité, de façon à maintenir un équilibre entre la rationalité écologique, la viabilité économique et la justice sociale (Gliessman, 2015). Cependant, cette transformation suppose des changements couvrant tous les composants du système alimentaire, depuis les semences et les sols jusqu'à la table du consommateur (Gliessman et Rosemeyer, 2010). Entre ceux qui cultivent les produits alimentaires, ceux qui les consomment, et ceux

qui les convoient de ceux-là vers ceux-ci, doit exister une connexion au sein d'un mouvement social dédié à la relation en profondeur entre culture et environnement dont est issue l'agriculture à l'origine. Notre système de production alimentaire actuel, mondialisé et industrialisé, n'est pas parvenu à convaincre de sa durabilité au regard des trois aspects de la durabilité (économique, social ou environnemental) (Gliessman, 2007; 2015). Une compréhension en profondeur de ce que peut représenter une approche holistique et écologique du système alimentaire peut susciter les changements nécessaires à une reconstruction de sa durabilité.

L'ÉVOLUTION DE L'APPROCHE AGROÉCOLOGIQUE DU CHANGEMENT DES SYSTÈMES ALIMENTAIRES: DE L'EXPLOITATION AGRICOLE AU SYSTÈME ALIMENTAIRE

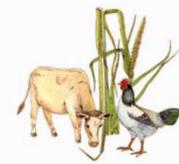
En se penchant sur un des premiers endroits où a pris racine le mouvement agroécologique actuel dans les années 70 – les basses terres tropicales du sud-est du Mexique, dans l'État de Tabasco – il est clair que cet enracinement reposait autant sur un fond écologique en approfondissement constant que sur la résistance aux pressions introduites par ce qu'on a appelé la Révolution Verte



(Gliessman, 2013). Une analyse agroécologique de la monoculture de produits tels que maïs, haricots, riz ou canne à sucre avait rapidement démontré qu'elle est à l'origine de dégradations de l'écosystème (érosion des sols, perte d'agrobiodiversité, infestations de ravageurs, etc.) autant que de contraintes sociales (pauvreté, malnutrition, dépendance, perte de diversité des moyens d'existence, etc.) (Barkin, 1978; Hart, 1979; Kimbrell, 2002). Avec la réalisation que le savoir écologique peut se combiner avec la richesse de la culture et de l'expérience locales de l'agriculture inhérentes aux systèmes de production agricole traditionnels (Gliessman, 1978; Gliessman et al., 1981), l'enracinement interdisciplinaire de l'agroécologie a entamé son développement.

Suite à la mise en place du premier programme universitaire formalisé d'agroécologie, en 1982, au sein de l'Université de Californie à Santa Cruz, l'approche agroécologique a pu s'appuyer sur une activité approfondie de recherche et d'enseignement (Gliessman, 1984). Sa focalisation au niveau de l'écosystème a permis l'élaboration de directions de recherche interdisciplinaires et basées sur le terrain, associant l'approche plus productiviste de l'agronome avec le point de vue plus systémique de l'écologiste (Gliessman, 1990). Différentes méthodologies de quantification et d'évaluation de la durabilité des agroécosystèmes ont commencé à se faire jour, tandis que des exemples des concepts et des principes de gestion requis pour le développement d'une base durable d'exploitation, de gestion et de conservation des terres ont également commencé à apparaître à l'échelle globale (Gliessman, 2001).

La publication d'un manuel de premier cycle, accompagné d'un manuel de travaux sur le terrain et au laboratoire (Gliessman, 1998a; 1998b), suivie de rééditions en 2007 et 2015, ont constitué des étapes importantes dans l'établissement de l'agroécologie comme discipline universitaire. Les étudiants reçoivent une introduction approfondie aux principes et processus écologiques à la base de l'agriculture durable, et sont en mesure, dans le cadre de l'enseignement, d'acquérir une expérience pratique. Dans le but d'arriver à une compréhension et à une promotion des changements apportés par les agriculteurs à leurs pratiques et approches agricoles, le manuel s'est d'abord référé aux trois niveaux, définis par MacRae *et al.* (1990), de la conversion d'un agroécosystème à la durabilité (dont on trouvera la description dans la section ci-après et un résumé dans le Tableau 1). En même temps que le savoir écologique requis pour effectuer ces transitions, des concepts importants ont été élaborés, formant un protocole d'étude des agroécosystèmes. Depuis la première publication de cet ouvrage, l'agroécologie a connu une expansion et une maturation tant dans son champ d'étude que dans sa focalisation. Dès le milieu des années 2000, le centre d'intérêt de l'agroécologie s'était déplacé du niveau du champ et de l'exploitation agricole pour recouvrir la totalité du système alimentaire, mettant l'accent sur l'importance de la mise en place de réseaux alimentaires reliant tous les composants du système alimentaire. Nous en sommes aujourd'hui à un point où l'agroécologie a pleinement intégré son rôle de mouvement réseauté de changement social et de transformation des systèmes alimentaires.



UTILISATION DE L'AGROÉCOLOGIE POUR LA TRANSFORMATION DES SYSTÈMES ALIMENTAIRES

Les agriculteurs ont la réputation d'être des innovateurs et des expérimentateurs, toujours disposés à adopter de nouvelles pratiques quand ils y voient un avantage, tout en restant attachés à celles qui ont fait leurs preuves dans la durée. Cela est particulièrement vrai des petits exploitants partout dans le monde (Altieri, 2004; Altieri et Toledo, 2011). Cependant, au long des dernières 5 à 6 décennies, le principal moteur de l'innovation agricole a été une obsession du haut rendement et une vision étroite et court-termiste de la rentabilité de l'exploitation, entraînant des résultats remarquables pour certains producteurs, mais trop fréquemment au prix de toute une série d'effets secondaires environnementaux et sociaux. Bien que l'injonction à se concentrer sur le résultat comptable (économique) continue de s'exercer avec force, de nombreux exploitants n'en font pas moins le choix d'effectuer une transition vers des pratiques plus rationnelles d'un point de vue environnemental et susceptibles de contribuer à la durabilité à long terme de l'agriculture. D'autres créent des entreprises agricoles qui incorporent dès le début diverses approches prenant en compte l'écologie. D'autres enfin ont recours aux principes de l'agroécologie pour renforcer les savoirs et expériences locaux, ainsi que les réseaux d'agriculteurs, qui se sont agrégés au cours des siècles (Altieri et Toledo, 2011). Tous les efforts de ce type représentent la «transformation» ou la «transition» de l'agriculture au sens large.

La transition vers une gestion basée sur l'écologie repose sur les principes de l'agroécologie. L'entrée en jeu initiale de ces principes se produit au niveau du processus pratique de modification de la façon de cultiver les produits alimentaires. Les agriculteurs qui prennent part au processus de transition savent, de par leur intuition, leur expérience et leur savoir, ce qui est *non* durable et ce qui est, à tout le moins, *plus* durable. Il n'en reste pas moins nécessaire de comprendre ce processus de façon plus détaillée. Au titre de contribution à cette évolution, un protocole pratique de conversion de systèmes industriels/conventionnels en systèmes plus durables est proposé ci-après, son résumé figurant au Tableau 1.

Le processus de transition

Le processus de transition peut être complexe, mettant en jeu des changements des pratiques agricoles, de la gestion au jour le jour de l'exploitation, de sa planification, de sa commercialisation et de la philosophie qui l'anime. Les principes ci-dessous peuvent être envisagés comme des orientations générales permettant de s'y retrouver dans la transformation d'ensemble:

- » Passage d'un modèle de gestion des nutriments basé sur leur utilisation en un seul passage à un modèle axé sur leur recyclage, avec un recours croissant à des processus naturels tels que la fixation biologique de l'azote et les relations plante-mycorhizes;
- » Recours à des énergies renouvelables de préférence à des énergies non renouvelables;
- » Élimination du recours à des intrants artificiels non renouvelables, d'origine extérieure à l'exploitation, susceptibles de nuire à l'environnement ou à la santé des agriculteurs, des ouvriers agricoles et des consommateurs;



- » Lorsqu'il est nécessaire d'introduire des produits dans le système, préférer des produits présents dans la nature à des produits synthétiques ou manufacturés;
- » Concernant les ravageurs, les maladies et les adventices, les «gérer» au lieu de les «combattre»;
- » Rétablir les interactions biologiques qui peuvent se produire naturellement sur l'exploitation, au lieu de les réduire et de les simplifier;
- » Adaptation plus appropriée des systèmes de culture utilisés au potentiel productif et aux contraintes physiques propres au paysage de l'exploitation;
- » Recourir à une stratégie d'adaptation des potentiels biologique et génétique des plantes et animaux de l'exploitation à l'environnement écologique de celle-ci, plutôt que d'adaptation de cet environnement aux besoins des cultures et des animaux;
- » Accorder une importance prépondérante à la santé d'ensemble de l'agroécosystème par rapport aux résultats d'une spéculation ou d'une saison agricoles données;
- » Priorité à la conservation des ressources naturelles en sol, en eau et en énergie ainsi que des ressources biologiques;
- » Respect des savoirs et expériences locaux en matière de conception et de gestion de l'agroécosystème;
- » Incorporation du principe de durabilité à long terme dans la conception et la gestion d'ensemble de l'agroécosystème.

Par leur intégration, ces principes créent une synergie d'interactions et de relations sur l'exploitation agricole, dont la conséquence à terme est le développement des propriétés caractérisant un agroécosystème durable. L'importance accordée aux différents principes pourra varier, mais chacun d'entre eux est susceptible de contribuer fortement au processus de transition. Nous ne devons pas nous satisfaire d'une approche de cette transition qui se contente de remplacer des intrants et pratiques conventionnels/industriels par des alternatives non agressives pour l'environnement; non plus que d'une approche dictée uniquement par les besoins des marchés, ou ignorant les besoins des communautés agricoles en termes de santé sociale et économique. La transition doit être un des aspects de la mise en place d'une sécurité alimentaire à long terme pour chacun, dans toutes les parties du monde.

Niveaux de transition

Pour de nombreux agriculteurs, passer rapidement au concept et à la pratique d'un agroécosystème durable n'est ni possible ni pratiquement envisageable. C'est pourquoi de nombreux efforts visant à la transition procèdent par petites étapes, avec la durabilité pour objectif final, ou s'attachent simplement à l'élaboration de systèmes de production alimentaire un peu mieux en rapport avec la rationalité écologique. Les trois premiers niveaux de transition vers un système alimentaire durable restent à l'échelle de l'exploitation (MacRae *et al.*, 1990; Gliessman, 2015). Deux niveaux additionnels dépassent l'échelle de l'exploitation. Les trois premiers niveaux nous permettent de décrire les étapes effectivement parcourues par les agriculteurs en abandonnant les agroécosystèmes industriels ou conventionnels, et les cinq niveaux considérés dans leur ensemble servent à cartographier le processus d'évolution affectant la totalité du système alimentaire.



Niveau un:

Améliorer l'efficacité des pratiques industrielles/conventionnelles afin de limiter l'utilisation et la consommation d'intrants coûteux, difficiles à se procurer ou nocifs pour l'environnement.

Cette approche a pour objectif une meilleure efficacité du recours aux intrants, de façon à en utiliser moins et à réduire également les impacts négatifs de leur utilisation. C'est l'approche qui est au cœur d'une grande partie de la recherche agricole conventionnelle, à l'origine de l'élaboration de nombreuses technologies et pratiques agricoles. On pourra citer l'optimisation de l'espacement et de la densité des plantations, l'amélioration des machines agricoles, la surveillance des ravageurs pour une application améliorée de pesticides, la programmation optimisée des opérations et l'agriculture de précision conduisant à un apport d'engrais et d'eau précisément ciblé. Si les efforts de ce type réduisent les impacts de l'agriculture conventionnelle, ils ne font rien pour briser la dépendance par rapport aux intrants artificiels extérieurs.

Niveau deux:

Remplacer les intrants et pratiques conventionnels/industriels, en leur substituant des pratiques alternatives.

À ce niveau de transition, l'objectif est de substituer à des produits et pratiques coûteux en ressources et nocifs pour l'environnement des produits et pratiques environnementalement non nocifs. Cette approche a été suivie plus particulièrement par l'agriculture biologique et la recherche agricole bio. On citera parmi les pratiques alternatives le recours aux cultures de couverture fixatrices d'azote et aux rotations en substitution aux engrais azotés synthétiques, l'utilisation d'agents de lutte biologique à la place de pesticides, et le passage au zéro labour ou au labour réduit. À ce niveau, la structure de base de l'agroécosystème n'est pas vraiment modifiée, de sorte que beaucoup des problèmes suscités par les systèmes industriels et conventionnels se retrouvent également dans les systèmes reposant sur la substitution d'intrants.

Niveau trois:

Revoir tout le concept de l'agroécosystème de telle sorte qu'il fonctionne sur la base d'un jeu de processus écologiques différent.

À ce niveau, le concept d'ensemble de l'agroécosystème subit des altérations fondamentales, éliminant les causes à la base de nombre des problèmes subsistant encore aux niveaux un et deux. De ce fait, plutôt que rechercher des solutions plus rationnelles aux problèmes, ceux-ci ne se posent simplement pas. Les études de conversion totale d'agroécosystème prennent en compte une compréhension des facteurs qui limitent le rendement dans le contexte de la structure et du fonctionnement de l'agroécosystème. Les problèmes sont décelés, et donc évités, au moyen d'approches de conception et de gestion internes et spécifiques au site et à la période, au lieu de recourir à des intrants extérieurs. Un bon exemple est la diversification de la structure et de la gestion de l'exploitation par le recours à la rotation des cultures, aux cultures associées et à l'agroforesterie.



Niveau quatre:

Restauration de liens plus directs entre ceux qui cultivent les produits alimentaires et ceux qui les consomment.

La transition se produit dans le cadre d'un contexte culturel et économique, et ce contexte doit favoriser le passage à des pratiques plus durables. Au niveau local, cela se traduit par une préférence des consommateurs pour les aliments produits localement et leur soutien, par leur budget alimentation, aux agriculteurs qui s'efforcent de franchir les étapes un, deux et trois. Ce soutien prend la forme d'une sorte de «citoyenneté alimentaire» et devient une force pour le changement du système. Plus cette évolution est fréquente parmi les communautés du monde entier, plus nous nous rapprochons du nouveau paradigme culturel et économique de durabilité qui est la condition nécessaire pour arriver au niveau cinq.

Niveau cinq:

Une fois acquis les fondations constituées par les agroécosystèmes durables à l'échelle de l'exploitation du niveau trois, et les réseaux alimentaires durables du niveau quatre, mise en place d'un nouveau système alimentaire global, fondé sur l'équité, la participation et la justice, qui non seulement soit durable, mais également contribue à restaurer et à préserver le système vital de la planète.

Contrairement aux niveaux un à quatre, le niveau cinq suppose un changement à l'échelle mondiale, et dont l'impact sur la nature profonde de la civilisation humaine va jusqu'à transcender le concept de «transition». Il n'en demeure pas moins que le chemin vers le niveau cinq passe nécessairement par le processus terre-à-terre, au niveau de l'exploitation agricole, qui est décrit ci-dessus.

En termes de recherche, les agronomes et autres chercheurs agricoles ont fait du bon travail sur la transition du niveau un au niveau deux, et il y a quelque temps déjà que la recherche sur la transition vers le niveau trois est en cours. En revanche, les travaux portant sur les aspects éthiques et économiques de la durabilité des systèmes alimentaires associés aux niveaux quatre et cinq n'en sont qu'à leurs débuts (Berry, 2009; Jackson, 2011). L'agroécologie fournit la base de travail pour les recherches et les actions communautaires requises. En fin de compte, c'est elle qui nous aidera à trouver les réponses à des questions plus vastes et plus abstraites, telles que la nature profonde de la durabilité et comment savoir si nous y sommes parvenus.

D'AILLEURS, QU'EST-CE QU'UN SYSTÈME ALIMENTAIRE DURABLE?

Quelle est l'alternative à l'agriculture industrielle? L'agroécologie a beau se focaliser sur l'élaboration de formes durables d'agriculture, elle ne peut apporter à cette question une réponse aussi directe que nous pourrions le souhaiter. L'agroécologie consiste en principes, concepts et stratégies visant à fournir la fondation de tout système de production alimentaire pouvant légitimement prétendre à la succession de l'agriculture industrielle. Ces principes, ces concepts et ces stratégies sont davantage destinés à former un cadre général pour la conception



d'agroécosystèmes durables qu'à donner des prescriptions et des plans de construction ou de gestion d'agroécosystèmes effectifs, et ils ne constituent pas les éléments spécifiques d'un système alimentaire mondial dans sa totalité.

Néanmoins, les principes de l'agroécologie suggèrent bel et bien les grandes lignes d'un système alimentaire durable, des éléments dont la description va nous aider à visualiser certains des objectifs auxquels tend l'approche agroécologique.

Exploration du concept de durabilité

Pour arriver à une bonne compréhension des éléments d'un système alimentaire futur fonctionnant sur une base plus durable que le système actuel axé sur l'agriculture industrielle, il n'est pas inutile d'explorer la signification du terme *durabilité*.

Avec la fréquence croissante de la caractérisation comme «non durable», par des chercheurs, des analystes, des militants et autres, de systèmes et pratiques actuels de la société – allant de l'utilisation des carburants fossiles et de l'agriculture industrielle à la dépendance du système économique sur une croissance soutenue – il est devenu de plus en plus courant d'arborer l'étiquette «durable». Tout un chacun veut voir son produit, son secteur, sa méthode alternative, ou sa proposition être considérés comme «durables». La conséquence de cet état de choses est que le terme de durabilité est devenu de plus en plus vague, ambigu et obscur.

Qui plus est, l'utilisation du concept de durabilité comme cadre d'analyse critique de l'agriculture industrielle et des alternatives en cours d'élaboration présente une faiblesse déterminante, du fait qu'il dépend entièrement d'une vision supposée ou hypothétique de l'avenir. Condamner comme non durable une pratique ou un système signifie essentiellement les déclarer mauvais parce qu'ils ne dureront pas. Cette approche néglige la possibilité qu'ils soient à l'origine de conséquences gravement néfastes dès aujourd'hui, dans le présent. À l'inverse, présenter comme souhaitable un système ou une pratique en raison de sa durabilité revient à dire que son avantage essentiel serait de durer dans le temps – que l'on peut s'attendre à le voir exister encore à un moment donné dans l'avenir. En soi, cette caractéristique ne garantit en rien que le système ou la pratique visés réduisent ou rendent plus supportables des inconvénients subis par les gens ou des systèmes naturels, ou qu'ils procurent un avantage. Ces insuffisances ont pour origine un problème pratique très réel concernant le concept de durabilité: du fait que la durabilité ne peut être démontrée en tant que telle dans le présent, sa preuve reste toujours hors de portée, quelque part dans l'avenir. Il est donc pratiquement impossible de savoir avec certitude si une pratique spécifique est effectivement durable, et si un jeu spécifique de pratiques constitue la durabilité.

En dépit de ces insuffisances du terme de durabilité, l'agroécologie ne l'abandonne pas en faveur d'un terme différent. En partie parce qu'il n'existe pas de terme alternatif adéquat. De plus, à condition de l'utiliser avec rigueur et en respectant son sens initial, ce terme fournit bel et bien l'élément essentiel de ce que nous espérons créer comme alternative à l'agriculture industrielle – un système de production, de distribution et de consommation alimentaires qui pourra perdurer indéfiniment, parce qu'il ne sème pas les germes de sa propre disparition. Mais la durabilité comprend bien plus que la simple endurance face au temps. Dans son acception



agroécologique, la durabilité recouvre également les diverses caractéristiques, dans le cas d'un système ou d'une pratique durable de façon évidente, à l'origine des qualités d'autosuffisance, de résilience et d'équilibre qui lui *permettent* de perdurer.

Si nous devons utiliser le terme «durable» pour désigner la caractéristique essentielle de ce que nous espérons créer en alternative à l'agriculture industrielle, nous devons être très précis quand à ce que recouvre notre utilisation de ce terme. Sur la base de nos connaissances actuelles, nous pouvons avancer qu'un système alimentaire durable doit, au minimum:

- » avoir un impact négatif minime sur l'environnement et dégager dans l'atmosphère, les eaux de surface ou les eaux souterraines des volumes insignifiants de substances toxiques ou nocives;
- » réduire au maximum les émissions de gaz à effet de serre (GES), contribuer à l'atténuation des effets du changement climatique par une capacité accrue des systèmes mis en œuvre à fixer le carbone, et faciliter l'adaptation des humains à un climat plus chaud;
- » préserver et restaurer la fertilité des sols, prévenir leur érosion et préserver leur bon état environnemental;
- » utiliser l'eau de façon à laisser les aquifères se recharger et à permettre aux besoins en eau de la population et de l'environnement d'être satisfaits;
- » recourir principalement aux ressources propres à l'agroécosystème, y compris les communautés avoisinantes, en substituant aux intrants extérieurs le recyclage des nutriments, une meilleure conservation, et une base de savoirs écologiques étendue;
- » contribuer à privilégier et à préserver la diversité biologique, tant dans la nature que dans les paysages produits par la main de l'homme;
- » garantir l'égalité de l'accès aux pratiques agricoles, savoirs et technologies appropriées, et rendre possible une maîtrise locale des ressources agricoles;
- » éliminer la faim, assurer la sécurité alimentaire d'une manière appropriée au point de vue culturel, et garantir à tout être humain le droit à une alimentation adéquate;
- » éradiquer les injustices sociales, économiques et politiques présentes dans les systèmes alimentaires.

Chacune de ces caractéristiques d'un système durable se prête à une démonstration dans le présent, et recouvre des avantages indéniables en faveur des populations et des systèmes écologiques et sociaux dont elles dépendent.

Les éléments d'un système alimentaire durable

En se guidant d'après la liste ci-dessus des caractéristiques de la durabilité, il est possible de se former une idée de l'aspect que pourraient présenter les systèmes alimentaires de l'avenir – pour peu que l'humanité s'engage sur «le chemin vers la durabilité». Au fur et à mesure que l'agroécologie se répand, de nombreux éléments de ces systèmes commencent déjà à émerger sous une forme rudimentaire, coexistant avec les systèmes alimentaires industriels.

- » Les systèmes alimentaires durables de l'avenir seront essentiellement constitués d'innombrables agroécosystèmes à petite ou moyenne échelle, dont chacun sera relativement autosuffisant, adapté aux conditions locales, et visera principalement à satisfaire les besoins, désirs et priorités alimentaires d'une population locale. Ce n'est qu'après avoir satisfait à la



demande et aux besoins locaux qu'un tel agroécosystème pourvoira aux besoins et aux désirs de communautés plus éloignées.

- » Les filières alimentaires seront remplacées par des réseaux alimentaires, dans la mesure où les connexions entre tous les acteurs du système alimentaire (du champ à l'assiette) seront rétablies, donnant à chacun d'entre eux son mot à dire sur les produits à mettre en culture, la façon de les cultiver et leur mode de commercialisation et de distribution.
- » Les agroécosystèmes traditionnels, sous contrôle paysan, alors même qu'ils sont entravés par l'intrusion de systèmes industriels, continuent de produire plus des deux tiers de l'alimentation mondiale. Ces systèmes, qui d'ores et déjà incarnent une bonne partie des attributs essentiels de la durabilité, resteront une base fondamentale de production alimentaire pour une grande partie du monde, grâce à l'amélioration de leur productivité et de leur efficacité par la recherche agroécologique.
- » L'alimentation des populations urbaines – les villes continuant à héberger une grande partie de l'humanité – se fera moins par l'entremise des marchés globaux et davantage à partir d'agroécosystèmes situés dans les régions avoisinantes et les villes proprement dites.
- » Les savoirs agricoles relèveront principalement du domaine public, où ils connaîtront une large dissémination, et seront davantage repris par les pratiques des agriculteurs que par des produits et systèmes technologiques.
- » Les agriculteurs recevront une compensation pour les services écologiques fournis par leur exploitation en sus de la production alimentaire. La protection de la diversité biologique, la production d'eau propre, l'élimination de l'érosion des sols, la séquestration du carbone, et la promotion de la présence de paysages vivants seront dûment évaluées et rémunérées.
- » Du fait que la durabilité en agriculture ne se limite pas à la culture et à l'élevage de produits alimentaires, mais concerne également leur mode d'utilisation, de distribution et de consommation, un système alimentaire durable va également comporter une distribution plus équitable de ces produits, en réduire la surconsommation et le gaspillage, et assurer que nos précieuses terres agricoles servent à nourrir les humains, plutôt que les automobiles et le bétail.
- » L'équité alimentaire sera un objectif commun à tous les systèmes alimentaires durables, la sécurité alimentaire, la souveraineté alimentaire et le droit à l'alimentation devenant des principes sociaux primordiaux.

Il n'est pas exagéré de dire que le système alimentaire durable de l'avenir, considéré dans son ensemble, représentera un changement de paradigme. De même que les agroécosystèmes traditionnels et indigènes, il conservera les ressources et utilisera un minimum d'intrants exogènes. De même que l'agriculture industrielle, il aura une productivité très élevée. Et, à l'encontre de tous les systèmes de production alimentaire qui l'auront précédé sur la planète, il combinera ces attributs tout en assurant une distribution équitable de ses avantages entre les êtres humains et leurs sociétés, et en s'interdisant de transférer ses coûts vers des écosystèmes naturels ainsi graduellement acculés à l'effondrement. Pour que ce changement de paradigme se produise, l'agroécologie doit devenir une force pour le changement, intégrant recherche, pratique et changement social à tous les composants de nos systèmes alimentaires.



L'AGROÉCOLOGIE ET LE SYSTÈME ALIMENTAIRE DE L'AVENIR

Les défenseurs de l'agriculture industrielle avancent que le seul moyen de pourvoir aux besoins alimentaires d'une population mondiale en pleine expansion est de continuer à concevoir de nouvelles technologies agricoles – notamment des variétés végétales génétiquement modifiées – qui accroîtront les rendements, réduiront les ravages des insectes et élimineront la concurrence des adventices. Ils disqualifient les systèmes alternatifs, traditionnels, durables et fondés sur l'écologie, au motif qu'ils sont inadéquats face à la tâche de cultiver la nourriture en quantité suffisante. Cette façon de voir est erronée sur au moins deux points.

Pour commencer, elle surestime la nécessité d'accroître les rendements. Tout d'abord, le système alimentaire actuel produit largement assez de calories alimentaires pour nourrir de façon adéquate chaque être humain de la planète, et davantage (Cassidy *et al.*, 2013; FAO, 2013b). Le premier problème est que 9 pour cent de ces calories sont prélevées pour la production de biocarburants ou autres produits industriels et qu'un volume supplémentaire de 36 pour cent va à l'alimentation animale (dont moins de 10 pour cent revient à l'alimentation humaine sous forme de calories d'origine animale), ce qui ne laisse que 55 pour cent à la disposition directe des consommateurs humains. Un autre problème est qu'on estime à *un tiers* de la nourriture produite à l'échelle mondiale les déperditions causées par la dégradation des produits, leur perte physique en ligne et autres problèmes au long de la filière, ou encore simplement par le gaspillage au niveau des consommateurs (FAO, 2013a). Qui plus est, les calories directement consommées par les humains au lieu d'être perdues le sont selon une distribution très inégale, une forte proportion finissant en surpoids chez les populations nanties. On voit donc que la nécessité de produire davantage d'aliments trouve moins son origine dans la croissance démographique que dans des modes d'utilisation de la nourriture générateurs de gaspillage, et dans l'évolution vers un régime alimentaire plus riche – *deux facteurs qui résultent de choix sociétaux*. Dans l'hypothèse où la consommation moyenne d'aliments d'origine animale diminuerait, tandis que la distribution et l'utilisation de la nourriture gagneraient en efficacité et en équité, la capacité de production alimentaire ainsi dégagée suffirait à nourrir chaque humain de façon adéquate, tout en laissant une marge de manœuvre suffisante pour faire face à l'expansion démographique.

Deuxièmement, ce point de vue ignore l'accumulation continue des résultats de recherche qui démontrent que les systèmes de production à petite échelle, fondés sur l'écologie ou bio, et même les systèmes traditionnels paysans, sont en mesure d'approcher, d'égaliser et même de surpasser la productivité des systèmes industriels quand la comparaison se fait sur la base du nombre de personnes nourries ou de la biomasse alimentaire produite, ramenés à l'unité de surface (voir par exemple Ponisio *et al.*, 2014). Il s'agit en général d'agroécosystèmes diversifiés, intégrés et articulés en plusieurs niveaux tels qu'on les trouve le plus souvent parmi les systèmes de production des pays en voie de développement, basés sur les petites exploitations traditionnelles, couvrant essentiellement la demande locale, alimentant les communautés étendues dont elles relèvent, et entretenant la capacité productive du sol sur le long terme. Ces systèmes sont on ne peut plus éloignés d'une approche de maximisation de rendement en monoculture, ou de



satisfaction du marché. Un rapport exhaustif de 1011, présenté au Conseil des droits de l'homme des Nations Unies et se basant sur une large analyse de la littérature scientifique récente, a démontré que la restructuration des agroécosystèmes selon les principes de l'agroécologie est en mesure de doubler la production alimentaire de régions entières, dans un délai de dix ans, tout en atténuant les effets du changement climatique et en soulageant la pauvreté rurale (De Schutter, 2011).

Pour de nombreux chercheurs et éducateurs du domaine de l'agroécologie, ainsi que leurs collègues de disciplines comme l'agronomie, il est clair depuis longtemps que leur rôle est de proposer des méthodes et systèmes agricoles plus durables, plus respectueux de l'environnement, moins dépendants des intrants et recourant moins à la technologie que ceux de l'agriculture industrielle. L'idée de base étant qu'une fois proposés, ces méthodes et systèmes seront adoptés, en raison de leur supériorité quels que soient les divers critères retenus. Malheureusement, l'expérience des récentes décennies a mis en lumière les limitations de ce point de vue. En dépit de la somme considérable de savoirs que nous avons accumulée sur les interactions écologiques à la base de la production alimentaire durable, ces savoirs ont connu des applications pratiques relativement limitées, tandis qu'entre-temps l'agriculture industrielle renforçait sa domination sur le système alimentaire mondial.

La transformation fondamentale de l'agriculture – pour l'engager sur le chemin de la durabilité – va constituer un défi considérable. Une hypothèse de base du présent exposé est que les agroécologistes ne peuvent espérer affronter ce défi qu'à condition de l'approcher simultanément sur trois fronts distincts.

Pour commencer, nous avons besoin d'en savoir plus, et de façon plus approfondie, sur les interactions écologiques entre les espèces vivantes modifiées par l'homme pour l'agriculture, entre ces espèces et leur environnement physique, et entre ces espèces et celles des écosystèmes naturels. Ce besoin est satisfait par le **volet scientifique de l'agroécologie**, qui s'appuie sur les savoirs et les méthodes de l'écologie moderne pour en déduire les principes qui pourront gouverner la conception et la gestion d'agroécosystèmes durables.

En second lieu, nous devons disposer de pratiques agricoles et de systèmes sur le terrain qui soient innovants et éprouvés, contribuant dès aujourd'hui à satisfaire nos besoins alimentaires tout en posant les fondations du système alimentaire plus durable de l'avenir. La réponse à cette nécessité est le **volet pratique de l'agroécologie**, dans lequel est privilégié le savoir local et empirique des agriculteurs ainsi que le partage de ce savoir, et qui remet en cause la distinction entre la production de savoir et son application.

Et pour finir, des changements fondamentaux de la façon dont les êtres humains abordent la nourriture, des systèmes économiques et sociaux qui en déterminent la distribution, et de son rôle d'agent médiateur des relations de puissance entre populations, classes sociales et pays, ne peuvent être évités face à la gravité de la situation. À cette dernière nécessité répond le **volet de transformation sociale de l'agroécologie**, qui non seulement revendique les changements nécessaires pour arriver à la sécurité alimentaire pour tous, mais encore explore les moyens par lesquels ces changements pourront être introduits et maintenus. Un cadre d'ensemble reliant ces trois aspects de l'agroécologie aux cinq niveaux de transition du système alimentaire est présenté dans le Tableau 1.



Tableau 1. Les niveaux de transition et leur intégration avec les trois volets de l'agroécologie nécessaires pour le passage à un système alimentaire mondial durable

NIVEAU	ÉCHELLE	Rôle des trois volets de l'agroécologie		
		Recherche écologique	Pratiques et coopération paysannes	Changement social
1 Améliorer l'efficacité des pratiques industrielles	Exploitation	Primordial	Important Réduit les coûts et les impacts environnementaux	Mineur
2 Substitution de pratiques et d'intrants alternatifs	Exploitation	Primordial	Important Facilite le passage aux pratiques alternatives	Mineur
3 Redéfinition complète d'agroécosystèmes	Exploitation, région	Primordial Fournit des indicateurs de durabilité	Important Création d'une réelle durabilité à l'échelle de l'exploitation	Important Assure la viabilité entrepreneuriale et le soutien de la société
4 Rétablissement des connexions entre cultivateurs et consommateurs, mise en place de réseaux alimentaires alternatifs	Local, régional, national	Auxiliaire Preuve apportée par la recherche interdisciplinaire de la nécessité du changement et de la viabilité des alternatives	Important Création de relations directes en soutien au changement	Primordial Restructuration des économies, évolution des valeurs et des comportements
5 Reconstruction d'un système alimentaire mondial durable et équitable pour tous	Monde	Auxiliaire La recherche trans-disciplinaire fournit le processus de changement et le suivi de la durabilité	Important Fournit la base pratique du changement de paradigme	Primordial Les systèmes mondiaux sont radicalement transformés

Source: adapté d'après Gliessman (2015)

Chacun de ces volets de l'agroécologie a une importance critique. Le Symposium de la FAO sur l'Agroécologie pour la sécurité alimentaire et la nutrition, organisé à Rome en septembre 2014¹, a permis de présenter de nombreux exemples d'application de la science de l'agroécologie aux systèmes de production agricole à travers le monde. Le volet du changement social de l'agroécologie a été exposé avec force par les organisations qui défendent et promeuvent les droits et les besoins des communautés subissant l'insécurité alimentaire et la malnutrition. Si les agroécologistes et les autres acteurs du mouvement pour établir l'agriculture sur des bases plus durables ne parvenaient pas à écouter ce plaidoyer et à mettre en place des liens entre celui-ci et leur science et leurs pratiques, tous leurs efforts resteraient probablement lettre morte.

¹ Pour davantage d'informations sur le Symposium international sur l'agroécologie pour la sécurité alimentaire et la nutrition, voir: www.fao.org/about/meetings/afns/fr/.



Il y a quelques années, la nécessité de cette approche intégrée de l'agroécologie a été exprimée avec vigueur dans les remarques de conclusion du 3ème Congrès latino-américain d'agroécologie, tenu au Mexique sous les auspices de la Société scientifique latino-américaine d'agroécologie (SOCLA). Ce vibrant appel à l'action nous fournira la conclusion du présent exposé:

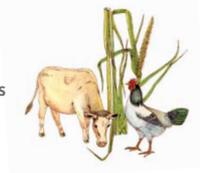
«L'agroécologie doit intégrer la science, la théorie et la pratique technologiques, et les mouvements poussant au changement social. Nous ne pouvons permettre à la séparation artificielle entre ces trois domaines de servir de prétexte pour ne se consacrer qu'aux aspects scientifiques ou technologiques. L'agroécologie recouvre la totalité du système alimentaire, depuis les semences jusqu'à l'assiette. L'agroécologiste idéal est celui qui mène des recherches scientifiques, va sur les exploitations, et prend au sérieux le fait d'enraciner son action pour le changement dans la notion de justice sociale. Nous devons aider ceux qui cultivent nos aliments et ceux qui les consomment à renouer leurs relations, pour leur avantage mutuel. Nous devons rétablir dans toute l'Amérique Latine, au sein des communautés rurales, la sécurité alimentaire, la souveraineté alimentaire et les opportunités qu'a durement impactées le système alimentaire mondialisé. Nous devons traiter avec respect les systèmes de savoir différents issus d'une co-évolution multimillénaire au sein des écologies et des cultures locales. C'est de cette façon que nous pourrons éviter la crise alimentaire qui se profile à l'horizon et poser les bases des systèmes alimentaires de l'avenir.»

(Gliessman, 2012)



RÉFÉRENCES

- Altieri, M.A.** 2004. Linking ecologists and traditional farmers in the search for sustainable agriculture. *Frontiers in Ecology and Environment*, 2: 35-42.
- 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: 587-612.
- Barkin, D.** 1978. *Desarrollo Regional y Reorganización Campesina: La Chontalpa como reflejo del problema agropecuario Mexicano*. Mexico City, Editorial Nueva Imagen.
- Berry, W.** 2009. *Bringing It to the Table: On Farming and Food*. Berkeley, CA, USA, Counterpoint.
- Cassidy, E.S., West, P.S., Gerber, J.S. & Foley, J.A.** 2013. Redefining agricultural yields: From tonnes to people nourished per hectare. *Environmental Research Letters*, 8: 1-8.
- De Schutter, O.** 2011. *Agroecology and the Right to Food*. Rapport présenté à la 16ème session du Conseil des droits de l'homme des Nations Unies [A/HRC/16/49] le 8 mars 2011.
- FAO.** 2013a. *Food Wastage Footprint: Impact on Natural Resources. Summary Report*. Rome.
- FAO.** 2013b. *The State of Food Insecurity in the World: The Multiple Dimension of Food Security*. Rome.
- Francis, C., Lieblein, G., Gliessman, S., Breland, T.A., Creamer, N., Harwood, R., Salomonsson, L., Helenius, J., Rickerl, D., Salvador, R., Wiedenhoef, M., Simmons, S., Allen, P., Altieri, M., Flora, C. & Poincelot, R.** 2003. Agroecology: the ecology of food systems. *J. Sustain. Agric.*, 22(3): 99-118.
- Gliessman, S.R.** (ed.). 1978. *Seminarios Regionales sobre Agroecosistemas con Énfasis en el Estudio de Tecnología Agrícola Tradicional*. Cárdenas, Tabasco, México, Colegio Superior de Agricultura Tropical: H.
- Gliessman, S.R.** 1984. An agroecological approach to sustainable agriculture. In: W. Jackson, W. Berry & B. Coleman. *Meeting the Expectations of the Land: Essays in Sustainable Agriculture and Stewardship*, pp.160-171. San Francisco, CA, USA, North Point Press.
- Gliessman, S.R.** (ed.). 1990. *Agroecology: Researching the Ecological Basis for Sustainable Agriculture*. New York, USA, Springer-Verlag.
- Gliessman, S.R.** 1998a. *Agroecology: Ecological Processes in Sustainable Agriculture*. Chelsea, MI, USA, Ann Arbor Press.
- Gliessman, S.R.** 1998b. *Field and Laboratory Investigations in Agroecology*. Chelsea, MI, USA, Ann Arbor Press.
- Gliessman, S.R.** (ed.). 2001. *Agroecosystem Sustainability: Developing Practical Strategies*. Advances in Agroecology Series. Boca Raton, FL, USA, CRC Press.
- Gliessman, S.R.** 2007. *Agroecology: the Ecology of Sustainable Food Systems*. Second Edition. Boca Raton, FL, USA, CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Gliessman, S.R.** 2012. A Voice for Sustainability from Latin America. Editorial. *Journal of Sustainable Agriculture*, 36: 1-2.
- Gliessman, S.R.** 2013. Agroecology: Growing the Roots of Resistance. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 37: 19-31.
- Gliessman, S.R.** 2015. *Agroecology: the Ecology of Sustainable Food Systems*. Troisième édition. Boca Raton, FL, USA, CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Gliessman, S.R., Garcia Espinosa, R. & Amador, M.** 1981. The ecological basis for the application of traditional agricultural technology in the management of tropical agro-ecosystems. *Agro-Ecosystems*, 7: 173-185.
- Gliessman, S.R. & Rosemeyer, M.E.** (eds.). 2010. *The Conversion to Sustainable Agriculture: Principles, Processes, and Practices*. Boca Raton, FL, USA, CRC Press, Taylor & Francis Group. 370 pp.



- Hart, J.L.** 1979. *Agroecosistemas: conceptos básicos*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica.
- Jackson, W.** 2011. *Nature as Measure: The Selected Essays of Wes Jackson*. Berkeley, CA, USA, Counterpoint.
- Kimbrell, A.** (ed.). 2002. *The Fatal Harvest Reader: The Tragedy of Industrial Agriculture*. Island Press: Washington, DC.
- MacRae, R.J., Hill, S.B., Mehuys, G.R. & Henning, J.** 1990. Farm-scale agronomic and economic conversion from conventional to sustainable agriculture. *Advances in Agronomy*, 43: 155-198.
- Poniso, L.C., M'Gonigle, L.K., Mace, K.C., Palomino, J., de Valpine, P. & Kremen, C.** 2014. Diversification practices reduce organic to conventional yield gap. *Proceedings of the Royal Academy of Sciences: Biological Sciences*, 282 (1396). DOI: 10.1098/rspb.2014.1396.



01

SÉCURITÉ ALIMENTAIRE ET SERVICES AGROÉCOSYSTÉMIQUES DANS UN MONDE EN MUTATION: LE MOMENT EST VENU POUR L'AGROÉCOLOGIE

Pablo Tittonnell

Écologie des systèmes de production, Université de Wageningen, Pays-Bas
Systèmes de production et de transformation tropicaux, CIRAD-PerSyst, France
Courriel: pablo.tittonnell@wur.nl



Résumé

L'agroécologie fournit des innovations techniques et organisationnelles qui ouvrent la voie vers un modèle agricole à l'échelle mondiale qui soit réparateur, adaptable, intégratif et efficient dans

son utilisation des ressources. Mais les définitions différentes qu'en donnent diverses écoles de pensée ont des répercussions sur le rôle joué par la nature et les mouvements sociaux dans



les modèles agricoles qui résulteraient de leurs propositions face à la question de la sécurité alimentaire et de la nutrition dans l'avenir. L'agroécologie, définie comme l'application des principes de l'écologie à la conception de systèmes agricoles, a le potentiel de contribuer grandement à la capacité globale d'adaptation au changement.

Le présent chapitre examine des exemples issus de toutes les parties du monde afin d'explorer quatre importants aspects de l'agroécologie: (i) la conception, faisant appel à la diversification et aux synergies, de systèmes complexes et adaptatifs fondés sur la petite exploitation; (ii) les potentialités offertes par le respect

des principes de l'agroécologie lors de la conception de systèmes agricoles alternatifs pour la grande exploitation; (iii) la capacité de l'agroécologie de réhabiliter les paysages dégradés; et (iv) le rôle crucial des mouvements sociaux et des politiques de soutien dans la dissémination de l'agroécologie. En s'appuyant sur la biodiversité, les systèmes agroécologiques non seulement présentent une productivité et une résilience supérieures à celles des systèmes conventionnels, mais encore ils contribuent à réduire les risques de production, ainsi qu'à la diversification des régimes alimentaires et à celle des sources de revenus pour les familles de petits exploitants agricoles.

INTRODUCTION

La plus grande partie des terres agricoles de la planète produisent actuellement moins qu'elles ne le pourraient (voir p. ex. van Ittersum *et al.*, 2013). À l'échelle globale, la plupart des principales plantes cultivées ont vu leur rendement moyen croître régulièrement au cours des 50 dernières années (Tilman *et al.*, 2011). Cependant, la répartition de cette croissance sur la planète n'a pas été uniforme et, aujourd'hui, les productivités les plus faibles affectent principalement ses régions les plus pauvres, là où le besoin de nourriture se fait le plus sentir, et elles sont encore plus basses pour les agriculteurs les plus démunis en ressources, quelle que soit leur localisation (CNUCED, 2014). Même si, globalement parlant, la production mondiale de calories alimentaires est suffisante pour nourrir tout le monde (2 700 Kcal par personne et par jour, contre un besoin situé entre 1 800 et 2 100 Kcal par personne et par jour), la production alimentaire des régions les moins favorisées reste au même niveau *per capita* qu'au cours des années 60 (FAO, 2014). Si on va au-delà des calories proprement dites ou des macronutriments, les grandes tendances indiquent une prépondérance de plus en plus importante de trois grandes céréales (maïs, blé et riz) dans le régime alimentaire global, au détriments de cultures vivrières souvent mieux adaptées et plus nutritives, telles que les petites céréales ou les légumineuses. Cette évolution a eu des conséquences néfastes pour la nutrition dans le monde en voie de développement (Khoury *et al.*, 2014).



Dans ces régions défavorisées, la conjonction de modèles de développement inadéquats et de densités de population (sédentaires) de plus en plus importantes dans les zones rurales a conduit à une dégradation sévère de la base de ressources naturelles (voir p. ex. Bationo et Waswa, 2011; Valbuena *et al.*, 2014; Andrieu *et al.*, 2015). Pour la plupart des agriculteurs de ces régions, les technologies agricoles 'modernes' sont hors de portée, trop chères, ou peu à leur goût. Ces technologies n'ont pas été mises au point pour cadrer avec la réalité de leurs systèmes de production et de leur environnement socioécologique, et elles ne peuvent donc accroître effectivement la productivité des cultures et de l'élevage (Tittonell et Giller, 2013). Cette situation contraste avec celle des régions plus favorisées, où une intensification agricole reposant sur le recours aux intrants, dans des proportions dépassant celles qu'aurait conseillées leur élasticité de substitution factorielle, a produit une pollution environnementale se traduisant par des problèmes de santé publique et des coûts sociaux élevés pour la société dans son ensemble (même si ces coûts ne sont jamais internalisés dans le prix du produit agricole).

Le changement climatique représente une menace supplémentaire pour la production alimentaire et aggrave les risques écologiques tant dans les pays du Sud que dans ceux du Nord (Reidsma *et al.*, 2009; Mapfumo *et al.*, 2010). De plus, à l'échelle mondiale, la sécurité alimentaire est grevée par des vulnérabilités qui lui sont inhérentes et proviennent de sa dépendance par rapport aux carburants fossiles, actuellement indispensables pour la production et le transport des produits alimentaires. Le recours aux carburants fossiles, ainsi que la déforestation, le drainage des zones humides, la fermentation entérique et l'oxydation de la matière organique du sol (MOS), sont à l'origine d'un apport net de carbone (C) atmosphérique qui contribue de façon substantielle au réchauffement climatique (plus de 25 pour cent des émissions de gaz à effet de serre sont le fait de l'agriculture). De plus, le pétrole représentant une ressource de plus en plus rare, son prix connaîtra inéluctablement des crises dont la conséquence inévitable sera l'insécurité alimentaire de nombreuses populations.

Le moment est venu de repenser notre modèle agricole actuel, un modèle dont la conception répondait aux problèmes d'un monde faisant face à un contexte historique entièrement différent (da Silva, 2014). Le moment est venu d'un nouveau modèle agricole, qui assure qu'une alimentation nutritive soit transformée en quantité suffisante là où elle est le plus nécessaire, qui soit à même de s'adapter au changement climatique et, dans la mesure du possible, de contribuer à l'atténuation de ses effets, qui préserve la diversité biologique et culturelle, et qui fournisse des services écosystémiques pertinents à l'échelle locale et globale. Autrement dit, le moment est venu de l'agroécologie. Le présent chapitre se propose d'explorer ce concept, tel que le proposent différentes écoles de pensée de par le monde, et d'apporter les preuves, fournies par la science, la pratique et les stratégies, du potentiel de l'agroécologie pour ouvrir la voie à une agriculture réparatrice, adaptable, intégrative et efficiente dans son utilisation des ressources.



LE PAYSAGE DE L'AGROÉCOLOGIE

L'historique, les définitions et les discours

L'agroécologie a été définie avec justesse comme un domaine où convergent science, pratique et mouvements sociaux (voir p. ex. Wezel *et al.*, 2009; Tomich *et al.*, 2011). Un rapport récent compilé par l'Institut international pour l'environnement et le développement, dans le but d'informer la communauté internationale sur la nature de l'agroécologie et ce qu'elle peut apporter (Silici, 2014) propose une approche utile de son historique. Il fait remonter l'utilisation scientifique du terme d'agroécologie aux années 30, son émergence comme pratique agricole aux années 70, et l'historique des mouvements sociaux qui s'y réfèrent aux années 80. Parmi ces derniers, le plus visible est certainement La Via Campesina, qui fédère un grand nombre de groupes indépendants d'exploitants familiaux répartis dans le monde entier (Martinez-Torres et Rosset, 2014). L'impulsion de mouvements sociaux est un des piliers de l'agroécologie. Elle est à l'origine de la dissémination des savoirs et technologies agroécologiques, c'est-à-dire, comme l'exprime Peter Rosset, que «l'impulsion de mouvements sociaux est le milieu de culture sur lequel croît l'agroécologie». On ne connaît pas avec précision l'extension effective de l'agroécologie en termes de surfaces concernées ou du nombre de producteurs ou de consommateurs qui y sont impliqués. Quelle que soit l'importance effective de ces chiffres, ils ne sont pas le résultat d'une campagne de dissémination impulsée par des États, des entités privées ou des organismes internationaux tels que les organes d'exécution des Nations Unies. L'extension de l'agroécologie est le résultat d'une dissémination *campesino-a-campesino* (de paysan à paysan) (Holt-Giménez et Altieri, 2013).

En même temps, «agroécologie» est également un terme utilisé par plusieurs disciplines agricoles et par différentes écoles de pensée (Tittonell, 2014). L'agronomie classique l'utilise fréquemment pour désigner l'ensemble des conditions pédologiques et climatologiques qui déterminent le potentiel productif d'un site donné. Le terme est également utilisé pour désigner l'étude de l'écologie des systèmes agricoles (voir p. ex. Dalgaard *et al.*, 2003; Francis *et al.*, 2003). En cohérence avec ces définitions assez larges, et sous l'influence de l'impression de plus en plus répandue ici et là que l'agroécologie est un peu le nouveau mot-valise à la mode du jargon du développement, il y a de plus en plus d'équipes de chercheurs, de par le monde, qui déclarent travailler sur l'agroécologie, et de scientifiques qui se parent du nom d'«agroécologistes» alors même qu'ils ignorent fréquemment l'existence d'un mouvement agroécologique international, ou de la discipline scientifique qui se développe dans son sillage. À l'inverse, il existe aussi de par le monde bon nombre d'exemples de pratiques et de savoirs agroécologiques qui ne revendiquent pas nécessairement cette étiquette (voir p. ex. Khan *et al.*, 2010; Xie *et al.*, 2011; Khumairoh *et al.*, 2012; Nezomba *et al.*, 2015). Dans certains cercles, l'agroécologie tend à être considérée comme un discours de pensée latérale, dont l'utilité est de jeter une passerelle sur l'abîme apparemment infranchissable entre l'agriculture 'conventionnelle' et, par exemple, l'agriculture bio. Ces diverses dérives ne sont pas nécessairement vues avec bienveillance par les membres du mouvement agroécologique. Ils expliquent, non sans raison, que l'agroécologie a commencé par être ignorée, puis critiquée, pour être à présent récupérée (Altieri, 2014).



Deux manuels (Altieri, 1987; Gliessman, 1998) publiés il y a quelques décennies ont exercé une influence considérable dans les Amériques, puis dans le monde entier, en raison de la fondation scientifique qu'ils apportaient à l'agroécologie. Ce n'était pas, à proprement parler, les seuls ouvrages à traiter des principes agroécologiques en science ou en politique agricole, mais leur popularité a été grande chez toute une génération d'agronomes et de chercheurs agricoles en formation – moi-même y compris. Les deux auteurs définissaient l'agroécologie, pour faire court, comme l'utilisation des principes de l'écologie pour concevoir et gérer des systèmes agricoles durables. Par la suite, Gliessman (2007) a proposé de se référer, plutôt qu'aux «systèmes agricoles», aux «systèmes alimentaires», élargissant ainsi la définition de l'agroécologie par incorporation aux systèmes agroécologiques, en sus de l'agriculture, de la distribution, de la transformation, de la commercialisation et de la consommation des aliments. Le mouvement agroécologique comporte également des courants qui mettent l'accent sur l'organisation sociale, voyant dans son impulsion le pilier central de l'agroécologie, et assignant aux savoirs, recherches et pratiques écologiques un rôle quelque peu secondaire (voir p. ex. Sevilla-Guzmán et Woodgate, 2013).

L'agroécologie ne fournit ni recettes toutes faites, ni paquets techniques, ni normes, ni prescriptions. Au lieu de cela, elle repose sur l'application de cinq principes de base¹: recyclage, efficacité, diversité, régulation et synergies. Le choix des pratiques de gestion et des technologies mis en œuvre pour l'application de ces principes est toujours spécifique au site, leur formulation s'inscrivant dans un contexte socioécologique spécifique. L'agroécologie se distingue de l'agriculture bio par l'absence de normes et de systèmes de certification. Malgré les divergences entre ces deux concepts, qui ont été soulignées avec insistance dans le passé, je suis convaincu que (i) l'agroécologie est en mesure de fournir les bases pour élaborer des systèmes de production agricole bio durables en aidant les agriculteurs à éviter le piège de la 'substitution d'intrants'; et que (ii) l'agriculture bio fournit dès à présent d'excellents exemples de la mise en œuvre des principes de l'agroécologie dans le contexte de la production agricole à grande échelle propre aux régions développées, la démonstration en étant apportée ci-après. Il est vrai également que parmi les exploitations bio actuelles, toutes ne peuvent être décrites comme agroécologiques, de même que certaines pratiques agroécologiques ne satisfont pas aux normes de la certification bio. Il n'en demeure pas moins que les deux mouvements convergent graduellement. C'est ainsi que la Fédération internationale des mouvements de l'agriculture biologique (IFOAM) a lancé en 2014 un nouveau concept, intitulé Organic 3.0 (www.ifoam.bio/en/what-organic-30), qui se propose d'ouvrir davantage l'éventail des pratiques, sur la base des principes de l'agroécologie, de façon à ouvrir la voie vers des normes de certification plus flexibles et ainsi rendre plus aisée la montée en échelle de l'agriculture bio.

¹ Ces cinq principes ne sont pas supposés constituer un dogme; le présent exposé les propose à titre de définition de travail, et ils correspondent aux principes exprimés dans les ouvrages de référence d'Altieri (2002) et Gliessman (2007).



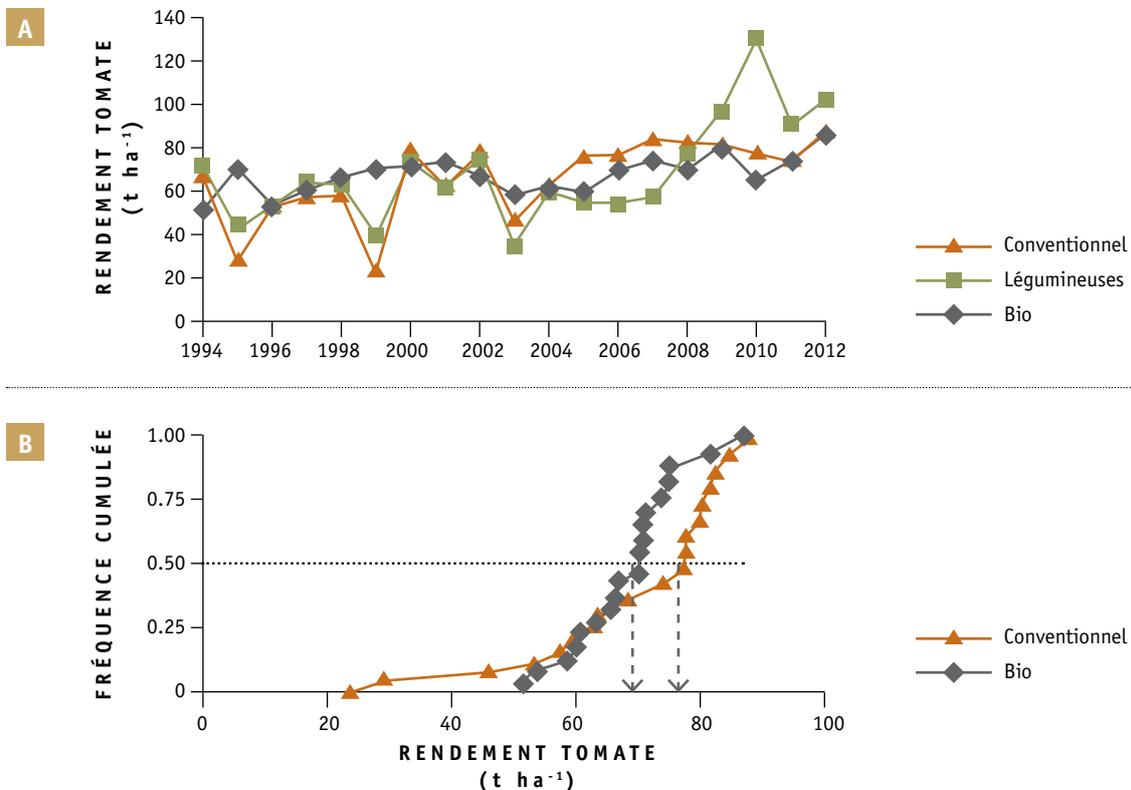
L'agroécologie et l'adaptation au changement climatique

La sécurité alimentaire actuelle et celle du futur sont sous la menace du changement global. Celui-ci comprend le changement climatique, l'expansion démographique, l'urbanisation, la mondialisation du commerce et l'évolution des régimes alimentaires. Qui plus est, la dégradation de l'environnement est à la fois une conséquence et une cause déterminante du changement global. Il est impératif de concevoir des systèmes agricoles qui soient résilients face à des chocs de plus en plus fréquents et adaptables aux nouvelles contraintes et conditions qui en sont la conséquence imposée. Il est largement démontré que l'agroécologie est en mesure de contribuer à l'adaptation au changement climatique et à l'atténuation de ses effets, à une production alimentaire à faible impact environnemental à l'intérieur ou à la périphérie des villes, et à produire des rendements élevés dans des endroits où d'autres modèles d'agriculture ne fonctionnent pas (voir p. ex. Pretty *et al.*, 2011). Mais la mondialisation et l'évolution des régimes alimentaires demeurent des menaces globales considérables pour l'agroécologie. La mondialisation du commerce menace les productions locales, soumet à monopole la diversité biologique, et entraîne à l'échelle mondiale une uniformisation des régimes alimentaires, consistant essentiellement en un jeu restreint de produits de base globaux (à savoir blé, riz, maïs, soja, huile de palme, canne à sucre) (Khouri *et al.*, 2014). Cette évolution des régimes alimentaires conduit à une perte de la diversité des agroécosystèmes, tant en termes de diversité génétique qu'en termes de diversité des paysages, avec des conséquences impactant les services écosystémiques, la production alimentaire et l'environnement. Et surtout, on voit de plus en plus clairement que la perte de biodiversité au sein des agroécosystèmes entraîne une chute de leur résilience et de leur adaptativité.

L'information issue des essais à long terme nous est ici d'une grande utilité. Cela fait déjà plus de 30 ans qu'un certain nombre de ces essais sont en cours, comparant l'agriculture bio et d'autres systèmes agroécologiques. L'Université de Californie Davis a démarré en 1993 un essai sur 100 ans dans son ranch expérimental de Russell, où sont suivis les rendements, la qualité des rendements, la biologie des sols et les flux d'eau et de nutriments de divers systèmes de gestion (<http://asi.ucdavis.edu/rr>). Les données à long terme produites par une telle expérimentation montrent que, pour une culture sensible à la sécheresse telle qu'une tomate de plein champ en rotation avec du maïs, une gestion bio du sol entraîne une meilleure stabilité des rendements sur la durée (Figure 1). Les rendements moyens à l'hectare, sur la période considérée (1993-2012), étaient respectivement de $66,7 \pm 18,2$, $68,9 \pm 24,1$ et $67,8 \pm 9,0$ tonnes pour les systèmes conventionnel, légumineuse-maïs-tomate, et bio. La Figure 1B montre que le rendement médian du système bio était inférieur de 7,3 pour cent à celui du système conventionnel (69,9 t/ha contre 75,4 t/ha), mais que dans les années sous la médiane, la fluctuation des rendements bio restait entre 54 et 70 t/ha, tandis que ceux du système conventionnel oscillaient entre 25 et 75 t/ha. De même, les résultats à long terme de l'expérimentation intersystémique en cours à l'Institut Rodale en Pennsylvanie montrent qu'en années sèches, les cultures sous gestion bio ont un rendement supérieur à celui des cultures sous gestion conventionnelle, dégageant des marges économiques plus favorables (Mirsky *et al.*, 2012).



Figure 1. Données de rendement fournies par l'expérimentation longue durée sur les systèmes au Ranch Russell, UC Davis, Californie



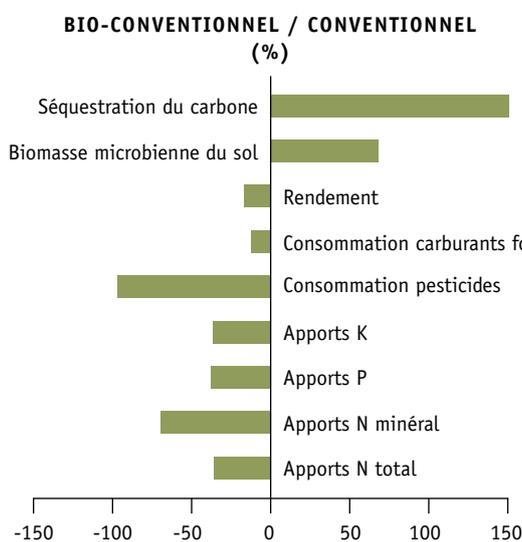
(A) Rendement en tomate de plein champ en rotation avec du maïs, sous gestion bio et conventionnelle, et en rotation avec des légumineuses; (B) Fréquences cumulées des rendements en tomate sous gestion bio et conventionnelle, la ligne pointillée grise indiquant le 50ème percentile. Les données à la base de l'analyse sont consultables sur <http://asi.ucdavis.edu/rr>

La comparaison des rendements de l'agriculture conventionnelle et bio est devenue pratique courante au cours des dernières années, et deux articles largement repris ont conclu, de façon indépendante, que la moyenne du différentiel de rendement entre les deux systèmes, pour divers types de cultures et de localisations, est de l'ordre de 20 pour cent (Seufert *et al.*, 2012; de Ponti *et al.*, 2012). Une publication plus récente a repris l'analyse des mêmes données, au moyen de techniques statistiques plus avancées prenant en compte les covariances, et est arrivée à un différentiel de rendement plus étroit quand les deux systèmes se voient appliquer les mêmes quantités d'azote (N) (différentiel 9 pour cent) ou quand l'analyse porte sur des rotations non tronquées (7 pour cent) (Ponisio *et al.*, 2014). De plus, il suffit d'un coup d'œil sur les données de la Figure 1A pour illustrer toute l'importance de prendre en considération des séries sur le long terme plutôt que des mesures ponctuelles pour comparer les rendements des deux systèmes. Si l'expérience de Russell n'avait été menée qu'en 1994, sa conclusion aurait été que le rendement des systèmes légumineuse-maïs-tomate et conventionnel est supérieur à celui du système bio. Si seule l'année 1995 avait été prise en considération, la conclusion aurait été que le bio a un rendement supérieur aux deux autres systèmes. Et si l'analyse avait porté sur la seule année 1996, elle aurait conclu à l'absence de différence significative entre les trois systèmes. De façon générale, un système qui contribue à l'amélioration à long terme de la qualité du sol n'exprimera pleinement son potentiel de production qu'après plusieurs années de mise en œuvre.



Les essais à long terme sont donc un outil essentiel pour la science de l'agroécologie, non seulement quand il s'agit d'évaluer l'adaptativité de divers systèmes face au changement global, mais également pour analyser leur impact environnemental et leur potentiel d'atténuation des effets de ce changement. Un rapport de la FAO a compilé les résultats de nombreuses expérimentations agricoles à long terme, issues du monde entier, portant sur des variables pertinentes par rapport au changement climatique, et qui montrent que la gestion bio des sols contribue de façon substantielle à la séquestration du carbone et entraîne une réduction significative du potentiel de réchauffement global (PRG) de l'agriculture, par comparaison avec la gestion conventionnelle (Niggli *et al.*, 2009). Des conclusions similaires ont été rapportées auparavant par Küstermann *et al.* (2008) à partir d'une étude basée sur des modèles de simulation. De même, l'expérimentation à long terme de Rodale citée ci-dessus montre que la gestion bio entraîne une réduction de 64 pour cent du PRG et une amélioration de 45 pour cent de l'efficacité énergétique par comparaison avec la gestion conventionnelle (www.rodaleinstitute.org/our-work/farming-systems-trial). L'expérimentation à long terme DOK² démarrée en Suisse en 1978 montre qu'un système sous gestion bio consomme 30 à 50 pour cent moins d'énergie par unité de surface, et 19 pour cent moins d'énergie par unité de produit, que les systèmes conventionnels, tout en étant le seul système qui conserve la MOS dans le long terme (Fließbach *et al.*, 2007). La Figure 2 retrace les différences entre les systèmes bio et conventionnel telles que mesurées par cette expérience sur une période de 21 ans.

Figure 2. **Comparaison des résultats environnementaux de systèmes sous gestion bio et conventionnelle sur les rotations de 21 ans de l'expérimentation DOK en Suisse**



À partir des données rapportées par Fließbach *et al.* (2007). La gestion bio a produit des rendements inférieurs en moyenne de 17 pour cent à la gestion conventionnelle, une séquestration du carbone et une biomasse microbienne supérieures de 150 et 67 pour cent respectivement, une consommation de carburants fossiles et de pesticides réduites de 13 et 96 pour cent, et un apport de nutriments réduit de plus de 35 pour cent.

Source: données tirées Fließbach *et al.*, 2007

² L'expérience DOK compare la production sous gestion biodynamique (D), bio (O pour «organique») et conventionnelle (K pour l'allemand «konventionell») de cultures telles que le blé, les pommes de terre, le maïs, le soja et les légumineuses fourragères (trèfle) et a produit de nombreuses publications.



Plus récemment, Rossing *et al.* (2014) ont produit un récapitulatif des preuves scientifiques de la capacité des systèmes de production agroécologiques et bio à s'adapter au changement climatique ou à en atténuer les effets, sur la base d'une analyse de la littérature comportant 97 références. En analysant plusieurs indicateurs, ils ont démontré, par comparaison avec les pratiques conventionnelles, des effets positifs statistiquement significatifs (meilleurs résultats) pour ces systèmes, ainsi que des effets statistiquement non significatifs (résultats non interprétables). Les domaines dans lesquels les systèmes agroécologiques ont montré des résultats significativement améliorés sont: (i) Séquestration du carbone jusqu'à une profondeur de 0,3 m; (ii) efficacité énergétique; (iii) capacité de rétention d'eau dans le sol; (iv) résilience à la sécheresse; et (v) résilience aux ouragans et aux fortes précipitations. Des différentiels non interprétables ont été trouvés pour (i) la séquestration du carbone jusqu'à une profondeur de 1 m; et (ii) le PRG. Il n'y avait que très peu d'études disponibles comportant des mesures du carbone du sol sous l'horizon de 2,3 m (Gattinger *et al.*, 2012).

Concernant le PRG, des incohérences majeures sont apparues entre des études qui rapportaient des équivalents en émissions de CO₂ calculés au moyen d'évaluations sur une durée de cycle, ramenées à l'unité de produit cultivé, ou à l'unité de surface (Tuomisto *et al.*, 2012). Quand les équivalents d'émissions étaient ramenés au kg de produit (p. ex. au kg de viande ou de céréale), l'agriculture industrielle montrait un meilleur résultat. Cependant, ce qui cause le réchauffement climatique est le volume net de CO₂ et de gaz similaires relâché dans l'atmosphère, indépendamment des rendements obtenus. Rappporter les émissions de gaz ou de tout autre impact environnemental à l'unité de produit, ce qui est fréquemment le cas des méthodes de comptabilité environnementale, est donc une source d'erreurs. Cette pratique exacerbe la sensibilité des évaluations environnementales aux problèmes de définition des limites des systèmes.

EXEMPLES ET ÉTUDES DE CAS

Des études de cas issues du monde entier ont été sélectionnées en vue d'illustrer quatre aspects importants de l'agroécologie:

1. le potentiel que représente la combinaison de la biodiversité, des pratiques traditionnelles et des sources alternatives de savoirs pour la mise au point de systèmes agricoles complexes et adaptatifs qui contribuent à la sécurité alimentaire et à la nutrition dans le cadre de l'agriculture familiale;
2. le potentiel que représente le recours aux principes de l'agroécologie pour concevoir et gérer des systèmes agricoles mécanisés à grande échelle dans les régions développées, par l'ajustement des technologies et pratiques agronomiques;
3. le potentiel que représentent les pratiques écologiques pour réhabiliter et préserver la productivité de terres actuellement dégradées en Afrique sub-saharienne, et la nécessité, pour que cela se produise à grande échelle, de mettre en place des conditions propices;
4. le potentiel de transformation que représente l'agroécologie pour la sécurité alimentaire, la nutrition et l'autonomisation des agriculteurs familiaux quand les mouvements sociaux et les conditions propices sont en phase.



Des documentaires ont été filmés pour illustrer ces quatre aspects sur la base de cas réels, et présentés dans le contexte du premier Symposium international sur l'agroécologie pour la sécurité alimentaire et la nutrition, organisé par la FAO en septembre 2014. On peut les trouver sur: www.fao.org/about/meetings/afns/en.

Agro-écosystèmes complexes adaptatifs

Des agro-écosystèmes complexes adaptatifs, combinant dans l'espace et le temps plusieurs activités de production animale et végétale, ont pour objet l'amélioration de l'efficacité globale de l'utilisation des ressources, y compris les ressources humaines et financières. Par exemple, des systèmes agroécologiques rizicoles complexes où se combinent le riz, l'azolla, les canards, les poissons, et les plantes de bordure (voir la vidéo intitulée «Complex adaptive rice cultivation in Indonesia»). Les poissons et les canards maîtrisent les adventices et les ravageurs directement, par leur comportement alimentaire et leurs mouvements (Figure 3A), favorisent le recyclage des nutriments et contribuent à la diversification du régime alimentaire et des revenus des ménages (Xie *et al.*, 2011; Liang *et al.*, 2012; Long *et al.*, 2013). Des essais de riziculture complexe adaptative, menés sur les champs de paysans depuis 2010 à Malang, dans l'est de Java, ont produit des rendements moyens de riz et une utilisation des nutriments plus importants qu'en monoculture au cours des deux premières années de l'expérience, le rendement s'améliorant au fur et à mesure que la complexité (c'est-à-dire le nombre de composants) des systèmes croissait (Khumairoh *et al.*, 2012). On a relevé des rendements en riz de 10,2 t/ha sur la deuxième récolte de riz quand riz, poisson, canards et azolla étaient exploités en combinaison. Des mesures récentes, effectuées en 2013, ont également inclus la volatilisation de l'ammoniac, qui est une des principales causes de perte d'azote pour le système (Del Río, 2014). La complexité du système, sous gestion bio, n'avait pas d'influence sur la volatilisation du NH₃, celle-ci restant dans tous les cas inférieure aux niveaux mesurés en riziculture conventionnelle avec engrais chimiques. Les systèmes ont été exposés à la variabilité climatologique, y compris une saison humide prolongée en 2010, et à une infestation de ravageurs endémiques survenue en 2014. Les mesures effectuées en 2010 ont montré des prévalences significativement plus faibles d'escargots, d'asticots et de sauteriaux tant au début qu'à la fin de la saison rizicole (Tableau 1). La présence de poissons et de canards a réduit les populations des principaux ravageurs du riz en 2010 et maîtrisé efficacement le scolyte en 2014 par comparaison avec le système conventionnel (qui recevait 6 l/ha de pesticide). L'analyse économique conclut que les coûts supplémentaires associés aux productions animales dans les systèmes complexes sont plus que compensés par la réduction des coûts liés aux produits agrochimiques et par l'accroissement et la diversification des revenus constatés dans les systèmes complexes.

Les agroécosystèmes complexes adaptatifs sont fréquemment inspirés par les pratiques paysannes traditionnelles, comme dans l'exemple ci-dessus, mais sont optimisés au moyen de technologies et de savoirs modernes. Cependant des systèmes complexes – ou, au sens large, des polycultures – ont également été conçus dans un but bien déterminé, ciblant des objectifs explicites, adaptés au contexte socio-technique, mais sans nécessairement s'inspirer de systèmes traditionnels (voir p. ex. Vereijken, 1997). Des exemples évidents sont les combinaisons de cultures annuelles et pérennes, ou de cultures végétales avec des ruminants en pâture ou des



Tableau 1. Niveau d'infestation par escargots, asticots et sauteriaux sur riz (individus au m²) aux stades initial et final de la croissance de la plante

	ESCARGOTS		ASTICOTS		SAUTERIAUX	
	4	10	4	10	4	10
Semaines après repiquage						
Parcelle de riz témoin	35	17	46	21.8	11	18
Riz + canards	20	1	25	1.8	1	2
Riz + canards + poissons	21	1	25	1.1	2	2

Source: Khumairoh *et al.*, 2012

porcs ou volailles circulant librement, d'agroforesterie et de systèmes sylvopastoraux, etc. Alors que la majeure partie de l'investissement en recherche agricole, au cours des cinq dernières décennies, a visé des monocultures exagérément simplifiées, il est temps pour les scientifiques et les innovateurs technologiques de prendre toute la mesure des polycultures complexes en tant qu'alternatives viables, afin d'arriver de manière équilibrée à concilier les objectifs de productivité agricole, de diversité nutritionnelle, d'adaptativité au changement global et de production de services écosystémiques.

Principes agroécologiques dans les grandes exploitations

Même si l'agroécologie trouve ses origines dans les mouvements *campesino* d'Amérique latine, et si elle a été adoptée par les mouvements d'exploitants familiaux dans le monde entier, ses principes de base n'en sont pas moins d'une pertinence considérable pour concevoir des systèmes agricoles fondés sur la grande exploitation. De nombreux agriculteurs d'Europe et des Amériques, qu'ils soient bio, biodynamiques, et même simplement 'conventionnels' mais innovants, ont sincèrement adopté les principes de l'agroécologie pour la conception et la gestion de leur exploitation. Cette forme d'agroécologie n'est pas nécessairement en liaison avec des mouvements sociaux – autres que des mouvements de consommateurs – tels que l'agriculture avec soutien communautaire, les syndicats agricoles, les associations d'agriculteurs concernés, etc. Les organismes nationaux de recherche agronomique, dans des pays comme l'Argentine (INTA) ou la France (INRA), s'ouvrent graduellement à l'agroécologie, en créant de nouveaux programmes de recherche et développement qui visent à traduire ses principes en termes d'options de gestion, de technologie et de stratégies, avec pour cible la grande agriculture mécanisée. Les exploitations ainsi visées ne sont pas nécessairement conformes au modèle de la petite exploitation familiale qui forme les systèmes au cœur de la cible du mouvement agroécologique. Néanmoins, de par leur taille et le volume de leur production, leur transition vers l'agroécologie peut avoir un impact positif important sur l'environnement global, sur la biodiversité et sur la qualité de la nourriture distribuée aux consommateurs, particulièrement les habitants des villes qui sont en majorité alimentés par ces exploitations.

Les agriculteurs bio et autres innovateurs des Pays-Bas ont compris le fort rendement en céréales que peuvent produire sur les sols néerlandais des techniques intelligentes d'intensification écologique, arrivant à des rendements aussi élevés que leurs voisins exploitants conventionnels (voir la vidéo intitulée «Healthy Cereals, The Netherlands»). La technique à laquelle recourent



Figure 3. Images tirées des études de cas



(A) Canards se nourrissant d'adventices et d'insectes dans un système rizicole complexe adaptatif à Malang, Indonésie (photo: P. Titonell); (B) un phénoménal plant de blé d'hiver cultivé en grand espacement sur une exploitation bio innovante en Zélande, Pays-Bas (photo: K. Steendijk); (C) Paysage dégradé, avec profond ravinement érosif et absence quasi-totale de couvert végétal, district d'Arusha, Tanzanie (photo: S. de Hek); (D) Paysage sahélien après réhabilitation, Burkina Faso (photo: G. Félix).

ces agriculteurs évoque les principes qui sous-tendent le système d'intensification de la riziculture (Stoop, 2011): une réduction de la densité de plantation pour donner de l'espace au tallage, l'uniformité du lit de semis et du taux de levée pour faciliter le sarclage mécanique, la synchronisation entre la demande pour le produit et son offre par les producteurs bio, et, dans certains cas, labour zéro ou minimum. À quoi ils ajoutent le guidage par GPS de la circulation des machines agricoles, pour planter sur des lits permanents et éviter la compaction des sols; le recours aux engrais verts; et la diversification des rotations³ (Oomen, 2012). Le Tableau 2 montre

³ Par exemple, l'agriculteur néerlandais bio de la vidéo exploite 80 ha de terres, sur lesquelles il cultive en rotation pas moins de 18 spéculations différentes.



des données sur le rendement du blé d'hiver et les composantes de ce rendement, collectées sur deux exploitations voisines, bio, de Zélande, dont l'une cultive le blé 'comme d'habitude' (c.-à-d. avec des pratiques similaires à celles des exploitants conventionnels de la région) et l'autre adapte l'agronomie du blé à la culture bio. Alors qu'au départ elle utilise moins de semences et pratique un espacement moins dense, la culture sous gestion adaptée termine avec davantage d'épis fertiles par unité de surface et des rendements moyens plus élevés, qui montrent une variabilité dans l'espace réduite (Figure 3B). Ce dernier exploitant a réduit la densité initiale de son blé parce qu'il lui applique du compost de déjections de poulet, qui relâche ses nutriments beaucoup plus lentement (notamment au début du printemps) que le lisier digéré utilisé par l'exploitant conventionnel. Comme l'ont montré Delmotte *et al.* (2011) dans leur analyse comparative des rendements du riz bio et du riz conventionnel en France, les agriculteurs bio apportent des ajustements agronomiques considérables à leurs cultures, prenant en compte les niveaux de fertilité et les prévisions météorologiques aux premiers stades du cycle cultural. Le produit final diffère sensiblement, dans sa structure et ses caractéristiques éco-physiologiques, de celui de l'agriculture conventionnelle. Ce qui montre une fois de plus que, contrairement à une opinion quasi générale, l'agriculture bio et agroécologique signifie bien davantage que simplement une agriculture conventionnelle sans les intrants, ou avec des intrants d'une autre nature. Produire de façon agroécologique suppose une compréhension entièrement différente de l'agronomie de base.

Tableau 2. **Variables agronomiques et composantes du rendement du cultivar de blé d'hiver *Tartarus* sous culture bio sur des exploitations en Zélande, Pays-Bas, suivant des pratiques agronomiques actuelles / adaptées en en 2011/12***

SYSTÈME	DENSITÉ DE SEMIS (kg ha ⁻¹)	POIDS DE 1 000 SEMENCES	PLANTS AU M ² AU TALLAGE (absolu, %)	ÉPIS AU M ² (absolu, %)	GRAINS PAR ÉPI	POIDS DE 1 000 GRAINS	INDICE DE RÉCOLTE (%)	RENDEMENT GRAINS (t ha ⁻¹)
Actuel	200	52	111 (55)	277 (30)	50.5	47.7	47	6.7 ± 2.1
Adapté	60	60	84 (19)	317 (23)	51.2	47.3	51	7.7 ± 1.4

Source: G. Oomen, 2012

*Rendement moyen en blé sous culture conventionnelle dans la région: 8,5 t/ha en 2012

Réhabilitation d'écosystèmes dégradés en Afrique sub-saharienne

On estime à 25 pour cent environ la proportion des sols agricoles dans un état sévèrement dégradé à l'échelle mondiale (Bai *et al.*, 2010). Ce qui représente certainement un obstacle quand il s'agit de satisfaire à la demande future en alimentation. Mais c'est également une opportunité, la réhabilitation d'une surface aussi immense résultant non seulement en un apport de 25 pour cent en plus de terre productrice d'aliments, mais aussi en la séquestration de milliers de mégatonnes de carbone, soustraites à l'atmosphère et réintroduites dans la couche arable du sol. Le problème de la dégradation des sols en Afrique sub-saharienne est aggravé du fait de la conjonction de sols qui sont naturellement pauvres (issus de roches précambriennes fortement érodées) ou dont la structure est trop grossière et pas assez profonde pour retenir l'eau, de la prévalence sur de



très grandes superficies de conditions climatologiques structurellement erratiques (p. ex. une variabilité des précipitations de 30 à 40 pour cent en zones semi-arides et de 15 à 20 pour cent en zones humides), et de l'accroissement de la densité des populations rurales, accompagné de celui de l'intensité des cultures, de la densité du bétail et de la fragmentation des terres. La proportion de la surface de ce continent vulnérable à la désertification a été estimée à 45 pour cent (Reich *et al.*, 2001).

On trouve pourtant, dans la littérature, de nombreux exemples de réhabilitation réussie de paysages dégradés. Un cas classique est la restauration de la productivité des sols au Sahel au moyen d'une mise en œuvre à grande échelle du système traditionnel *zai* de trous de plantation, en combinaison avec des fossés de plantation en demi-lune et des barrières anti-érosion en pierres (voir p. ex. Bationo *et al.*, 2005). Plus récemment, on a rapporté des exemples intéressants basés sur les 'exclos' en Éthiopie (Corral-Nuñez *et al.*, 2014), les «jachères indigènes à légumineuses» (indifallows) au Zimbabwe (Nezomba *et al.*, 2015), ou les amendements boisés et arbustifs au Burkina Faso (Lahmar *et al.*, 2012; Félix *et al.*, 2015 – Figure 3D). De plus, des mesures réitérées de l'indice de végétation par différence normalisée (IVDN) ont conduit à des estimations d'ordres de grandeur de la productivité céréalière montrant que les zones où se manifeste une amélioration de la production agricole et de la biomasse végétale naturelle sont plus étendues que celles où la biomasse décline, notamment en zones arides (Tableau 3). Cependant, la plus grande partie des terres ainsi 'reverdiées', probablement suite à un accroissement des précipitations annuelles par rapport à la période de référence (début des années 80), est associée à des systèmes pastoralistes plutôt qu'à des zones agricoles.

Tableau 3. **Superficies (en millions de km²) en Afrique où on observe une baisse, une stabilité ou une augmentation de la production de biomasse, estimée d'après la pente de l'IVDN, par zone climatique**

ÉVOLUTION DE LA BIOMASSE	ZONE CLIMATIQUE			
	Aride (<500 mm)	Semi-aride (500-800 mm)	Subhumide (800-1 300 mm)	Humide (>1 300 mm)
En baisse	0.3	0.3	0.9	0.7
Stable	2.2	1.5	2.8	2.2
En augmentation	4.2	1.8	2.5	1.9
Total	6.7	3.6	6.2	4.8

Source: adapté d'après Vlek *et al.*, 2008

Toutes les indications scientifiques en notre possession semblent montrer que la restauration et la préservation de la productivité des terres, qui sont essentielles pour la sécurité alimentaire future de l'Afrique sub-saharienne, ne sont plus nécessairement un problème technique insoluble, mais plutôt une question de l'identification des incitations adéquates pour que les petits agriculteurs procèdent aux investissements nécessaires. L'agriculteur tanzanien de la vidéo d'étude de cas (voir «Restoring landscapes, Tanzania») n'est pas un petit agriculteur typique de sa région. Il a commencé par être instituteur local, très respecté dans sa communauté, et avec une curiosité innée pour les innovations. Il a accueilli favorablement un grand nombre de technologies proposées dans la région par diverses organisations rassemblées autour du réseau ACT (African Conservation Tillage), qu'il a sélectionnées et adaptées pour son système. Il a créé



une oasis de productivité dans le contexte d'un paysage dégradé et en voie de désertification (Figure 3C) par la combinaison de mesures telles que culture sur courbes de niveau, agroforesterie, labour de conservation, cultures intercalaires, alimentation du bétail par «coupe et transport», compostage et production de biogaz, et stockage adéquat des semences. Cet exemple démontre la possibilité de restaurer des paysages dégradés et la productivité agricole par l'application de principes de base de l'agroécologie. Mais il montre également que l'application d'une technologie ou d'une intervention isolées ne fonctionne pas.

La grande question qui attend l'agroécologie et les mouvements qui lui sont liés est celle du passage à grande échelle à partir de ces exemples réussis. Quelles incitations pourront conduire les agriculteurs à investir du temps et des ressources dans la réhabilitation d'écosystèmes dégradés? Quelles types de stratégies pourront créer des conditions favorables à une adoption généralisée de l'agroécologie dans des zones éloignées, sans accès ou presque aux services de base, à l'information, aux marchés ou à l'éducation? Il est très remarquable que les ruraux d'Afrique sub-saharienne sont loin d'être tous des 'agriculteurs' par choix ou par vocation, et qu'ils ne sont que peu nombreux à envisager l'agriculture comme une forme viable de moyen d'existence pour leurs enfants (Bryceson, 2002). À l'époque où j'effectuais des enquêtes auprès des ménages en Afrique de l'Est, il y a plus d'une décennie, j'avais coutume d'interroger les agriculteurs sur leurs motivations pour exercer ce métier. À la question «*Pourquoi travaillez-vous la terre?*», la réponse, dans de nombreux cas, était, mot pour mot: «*Parce que je suis au chômage*» (cf. Tiftonell *et al.*, 2010). Il est clair que la réhabilitation de paysages et la préservation d'agroécosystèmes productifs demanderont bien plus que de simples bricolages agronomiques ou technologiques.

Les mouvements et les stratégies de l'agroécologie

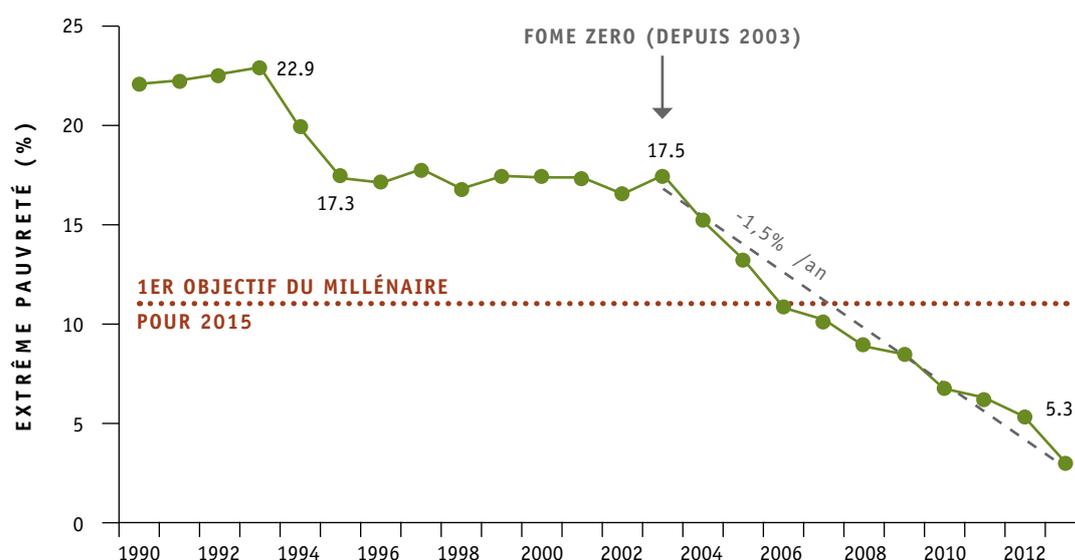
Un des rares pays qui ont, en moins d'une décennie, atteint les Objectifs du Millénaire en termes de réduction de la pauvreté extrême et d'éradication de la faim est le Brésil (Figure 4). Ce succès n'aurait pu être réalisé sans le lancement du programme *Fome Zero* (Zéro Faim), composé d'un grand nombre d'instruments stratégiques et de développement dont le déploiement à travers tout le pays a été adapté en fonction des différentes régions. Certaines de ces stratégies ont conduit à l'émergence de conséquences positives et inattendues. Par exemple, suite à la création d'un programme sur l'obligation de servir des repas aux écoliers, les directeurs d'école du pays tout entier se sont vu contraints par la loi de se procurer au moins 30 pour cent des aliments auprès de petits agriculteurs. Quand ces aliments sont bio, les agriculteurs perçoivent un bonus de 30 pour cent du prix. Avec une distribution géographique des écoles qui recouvre la totalité des zones urbaines et rurales du Brésil (45 millions d'enfants scolarisés), cette politique a créé un gigantesque marché de proximité pour la production atomisée des petits agriculteurs (qui sont 4,3 millions dans le pays), réduisant les coûts de transaction et de transport tant pour les vendeurs que pour les acheteurs, et contribuant ainsi à faire baisser les prix des aliments. Les agriculteurs qui desservent une cuisine scolaire sont incités à diversifier leur production, les gestionnaires exigeant une grande diversité d'ingrédients pour leurs repas. La diversification de la production sur chaque exploitation a également entraîné des conséquences positives sur le



régime alimentaire des familles des cultivateurs eux-mêmes, clairement une situation gagnant-gagnant. Les programmes ont encore eu une autre conséquence positive indirecte, à savoir toute une gamme de nouvelles organisations paysannes dédiées à l'agrégation et à la distribution de la production de leurs membres, assurant ainsi leur traçabilité, leur qualité et leur juste prix. Ces nouvelles formes d'organisations ont été rendues possibles par une certaine tradition d'organisations paysannes dans le Brésil rural (voir la vidéo «Agroecology in movement, Brazil»), mais aussi par le soutien des autorités.

Le Brésil est le premier pays à avoir créé un Ministère du développement agraire (Medaests *et al.*, 2003) spécifiquement dédié aux besoins du secteur de la petite agriculture familiale, et le premier à avoir créé un Plan national d'agroécologie, qui s'appuie sur les principes du développement territorial. C'est ainsi que ce ministère finance la construction d'écoles rurales où les jeunes sont instruits selon les principes de l'agroécologie. Il reste encore beaucoup à améliorer dans les politiques brésiliennes de développement rural, mais la raison pour laquelle cette étude de cas figure ici est pour souligner le fait que des stratégies propices – appuyées sur une volonté politique – sont essentielles pour que l'agroécologie fonctionne et devienne une réalité pour un grand nombre de petits exploitants familiaux. Des politiques nationales telles que celles élaborées et mises en œuvre au Brésil sont nécessaires pour la montée en échelle de l'innovation écologique, la faisant passer d'une position de niche à un statut de régime socio-technique alternatif. À un moment où les experts en agriculture et en sécurité alimentaire se perdent en hypothèses, spéculations et souvent dissensions sur les conditions à remplir

Figure 4. **Prévalence de la pauvreté extrême au Brésil au cours des dix premières années de la mise en œuvre du programme *Fome Zero* (2003-2013), montrant le seuil fixé comme Objectif du Millénaire à l'horizon 2015, et atteint dès 2006**



Pour la Banque mondiale, une prévalence de 3 pour cent est équivalente à l'éradication (Paes-Sousa et Vaitsman, 2014)

Source: IBGE, 2013



pour mettre fin à la faim dans le monde, il est sans doute plus indiqué d'analyser l'exemple de pays comme le Brésil qui ont, dans les faits, éradiqué la faim à l'intérieur de leurs frontières au cours des dernières années. En particulier, l'exemple du Brésil illustre bien qu'il n'est pas nécessairement indispensable de doubler les rendements agricoles pour éliminer la faim.

OBSERVATIONS FINALES

L'agroécologie fournit des innovations techniques et organisationnelles qui ouvrent la voie vers un modèle agricole à l'échelle mondiale qui soit réparateur, adaptable, intégratif et efficient dans son utilisation des ressources. Il ne manque pas de défis à surmonter. En particulier, il est important de connaître avec certitude l'emprise actuelle de l'agroécologie dans le monde en termes de la superficie qu'elle recouvre et du nombre d'exploitants ayant adopté ses principes. En comprenant et en couchant sur le papier quelles sortes d'agriculteurs franchissent le pas vers l'agroécologie, et dans quelles conditions, nous serons dans une meilleure position pour éclairer l'élaboration de politiques publiques de soutien à cette transition. Le grand défi qui nous attend est la montée en échelle de l'agroécologie, à partir d'exemples réussis mais isolés donnés par des pionniers, pour arriver à une dissémination à grande échelle. C'est là que les mouvements et organisations sociales ont un rôle majeur à jouer. L'investissement dans l'investissement institutionnel et stratégique revêtira une importance au moins égale à celle de l'investissement dans les nouveaux savoirs scientifiques ou l'agroécologie. Il nous faut non pas des politiques contraignantes de passage des exploitants agricoles à l'agroécologie, mais des politiques qui redistribuent les cartes pour rendre l'agriculture agroécologique aussi concurrentielle et économiquement viable que l'agriculture industrielle, par exemple: (i) en internalisant dans les coûts de production les externalités environnementales; (ii) en dirigeant de façon préférentielle les subventions à l'agriculture à faible impact environnemental; (iii) en protégeant le droit des exploitants familiaux à accéder à l'agrobiodiversité, droit de plus en plus étouffé par le système de brevets et des prétentions à droits de propriété intellectuelle contraires à l'éthique; et (iv) par la promotion de circuits commerciaux courts et de systèmes alimentaires locaux, transformation comprise, permettant de garantir aux plus pauvres des résidents des villes l'accès à une nourriture saine et de qualité.

Dans un contexte de croissance démographique rapide et de réduction de la surface des exploitations, les petites exploitations pourraient jouer un rôle plus significatif en apportant au régime alimentaire des compléments et des améliorations grâce à la production d'une grande diversité de produits agricoles nutritifs, plutôt qu'en se fixant exclusivement sur des produits riches en calories. Si le régime alimentaire des populations est le plus souvent déterminé par la demande davantage que par l'offre (Marie et Delpeuch, 2005), dans de nombreux cas les familles de petits paysans peuvent faire exception à cette règle. Le régime alimentaire typique des résidents des zones rurales bien connectées aux marchés et aux centres urbains, ou qui sont desservies par les moyens de communication de masse, est de plus en plus déterminé par la demande. Il n'est absolument pas rare de voir des ruraux qui habitent des environnements pluridiversifiés consommer des aliments transformés issus des villes, et utiliser des ingrédients qui ont parcouru



de grandes distances. Cependant, dans les régions où la connexion aux marchés ou aux media est moindre, ou dont les habitants sont trop pauvres pour acheter des aliments importés, la relation entre paysages et diversité nutritionnelle est beaucoup plus étroite. La biodiversité fonctionnelle qui est nécessaire pour préserver les processus et fonctions agroécologiques a aussi pour effet une plus grande diversité de produits agricoles et animaux, susceptible d'améliorer le régime alimentaire des familles paysannes, comme dans le cas du Brésil.

Si nous prenons la composition moyenne d'un régime alimentaire recommandé pour réduire les risques de santé liés à l'alimentation (Murray, 2014), pour la comparer avec la production alimentaire globale actuelle, il est clair qu'il nous manque 11 pour cent de produits maraîchers, 34 pour cent de fruits, 50 pour cent de lait frais, et 58 pour cent de fruits à coques et graines. Ces lacunes nutritionnelles montrent qu'il est nécessaire de diversifier la production grâce, par exemple, aux associations et rotations intensives de produits maraîchers, à l'intégration agriculture-élevage, ou à l'agroforesterie fruitière – toutes pratiques courantes en agroécologie. Il est nécessaire de faire porter l'effort sur la conception de paysages agricoles tournés vers la nutrition au moyen de la diversification. Accroître le rendement de quelques produits de base mondiaux pour réduire la pauvreté et la faim était une bonne intention qui a d'ores et déjà prouvé ses insuffisances. Notamment au niveau des petits paysans, avec des superficies qui peuvent être inférieures à un demi-hectare, ce n'est pas une augmentation du rendement des cultures vivrières de base qui va les tirer de la pauvreté. Compte tenu de cette faible superficie, le revenu total tiré de la vente de leur récolte – à supposer que leur rendement réalise son plein potentiel – restera minime. Le résultat est qu'une grande partie des producteurs agricoles des régions en voie de développement sont actuellement des agriculteurs à temps partiel, dans l'incapacité d'accorder à leurs exploitations et à leur paysage agricole toute l'attention nécessaire. Cette tendance ne peut que s'exacerber, pour les futures générations de petits paysans, si rien n'est fait pour la contrer. Le moment est venu pour l'agroécologie

REMERCIEMENTS

Que soient remerciés Gerard Oomen, Kees Steendijk, Uma Khumairoh, Thomas Loronjo et Irene Cardoso pour l'inspiration, l'information et la discussion qu'ils m'ont prodiguées.



RÉFÉRENCES

- Altieri, M.A.** 1987. *Agroecology: The Scientific Basis of Alternative Agriculture*. Boulder, CO, USA, Westview Press.
- Altieri, M.A.** 2002. Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 93: 1-24.
- Altieri, M.A.** 2014. Exposé au Symposium international sur l'agroécologie pour la sécurité alimentaire et la nutrition, 18-19 septembre, FAO, Rome.
- Andrieu, N., Vayssières, J., Corbeels, M., Blanchard, M., Vall, E. & Tittone, P.** 2015. From farm scale synergies to village scale trade-offs: cereal crop residues use in an agro-pastoral system of the Sudanian zone of Burkina Faso. *Agricultural Systems*, 134: 84-96.
- Bai, Z.G., de Jong, R. & van Lynden, G.W.J.** 2010. *An update of GLADA – Global assessment of land degradation and improvement*. ISRIC report 2010/08. Wageningen, ISRIC – World Soil Information.
- Bationo, A., Tabo, R., Kihara, J., Kimetu, J., Adamou, A. & Koala, S.** 2005. Farming in the drylands of West Africa: promising soil fertility restoration techniques. In G.O. Omanywa & D. Pasternak, eds. *Sustainable Agriculture Systems for the Drylands*, pp. 100-125. Compte-rendu de l'International Symposium for Sustainable Dryland Agriculture Systems, 2-5 décembre 2003, Niamey, Niger. ICRIASAT.
- Bationo, A. & Waswa, B.S.** 2011. New challenges and opportunities for integrated soil fertility management (ISFM) in Africa. In A. Bationo, B. Waswa, J.M. Okeyo, F. Maina & J. Kihara, eds. *Innovations as Key to the Green Revolution in Africa: Exploring the Scientific Facts*, pp. 3-20. Vol. 1. Dordrecht, the Netherlands, Springer.
- Bryceson, D.F.** 2002. The Scramble in Africa: Reorienting Rural Livelihoods. *World Development*, 30: 725-739.
- Corral-Núñez, G., Opazo-Salazar, D., GebreSamuel, G., Tittone, P., Gebretsadik, A., Gebremeskel, Y., Tesfay, G. & van Beek, C.L.** 2014. Soil organic matter in Northern Ethiopia, current level and predicted trend: a study case of two villages in Tigray. *Soil Use and Management*, 30: 487-495.
- Dalgaard, T., Hutchings, N.J. & Porter, J.R.** 2003. Agroecology, scaling and interdisciplinarity. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 100: 39-51.
- da Silva, J.G.** 2014. Discours de clôture du Symposium international sur l'agroécologie pour la sécurité alimentaire et la nutrition, 19 septembre, FAO, Rome.
- de Ponti, T., Rijk, B. & van Ittersum, M.K.** 2012. The crop yield gap between organic and conventional agriculture. *Agricultural Systems*, 108: 1-9.
- Del Río, T.** 2014. *Assessment of nitrogen use and losses from rice agro-ecosystems with different levels of complexity in East Java, Indonesia*. Wageningen University. (MSc thesis)
- Delmotte, S., Tittone, P., Mouret, J.-C., Hammond, R. & Lopez-Ridaura, S.** 2011. On farm assessment of rice yield variability and productivity gaps between organic and conventional cropping systems under Mediterranean climate. *European Journal of Agronomy*, 35(4): 232-236.
- FAO, IFAD & WFP.** 2014. *The State of Food Insecurity in the World 2014. Strengthening the enabling environment for food security and nutrition*. Rome.
- Félix, G., Scholberg, J., Courmac, L. & Tittone, P.** 2015. Woody amendments to restore soil fertility and improve productivity in semi-arid West Africa. *A review. Nutr. Cycl. Agroecosyst.* submitted.
- Fliessbach, A., Oberholzer, H.-R., Gunst, L. & Mäder, P.** 2007. Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 118: 273-284.



- Francis, C., Lieblein, G., Gliessman, S., Breland, T.A., Creamer, N., Harwood, R., Salomonsson, L., Helenius, J., Rickerl, D., Salvador, R., Wiedenhoeft, M., Simmons, S., Allen, P., Altieri, M., Flora, C. & Poincelot, R. 2003. Agroecology: The ecology of food systems. *J. Sustain. Agr.*, 22: 99-118.
- Gottinger, A., Muller, A., Haeni, M., Skinner, C., Fliessbach, A., Buchmann, N., Mäder, P., Stolze, M., Smith, P., El-Hage Scialabba, N. & Niggli, U. 2012. Enhanced top soil carbon stocks under organic farming. *PNAS*, 109: 18226-18231.
- Gliessman, S.R. 1998. *Agroecology: Ecological Processes in Sustainable Agriculture*. Chelsea, MI, USA, Ann Arbor Press.
- Gliessman, S.R. 2007. *Agroecology: The Ecology of Sustainable Food Systems*. Boca Raton, FL, USA, CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Holt-Giménez, E. & Altieri, M.A. 2013. Agroecology, Food Sovereignty, and the New Green Revolution. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 37: 90-102.
- IBGE. 2013. *Pesquisa nacional por amostra de domicílio: segurança alimentar*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (available at: www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/).
- Khan, Z.R., Pickett, J.A., Hamilton, M.L., Hassanali, A., Hooper, A.M., Kuate, S.P., Midega, C.A.O., Pittchar, J. & Torto, B. 2010. Control of stemborers and striga in African cereals: A low input push-pull approach with rapidly expanding impact. *Aspects of Applied Biology*, 56: 145-151.
- Khoury, C.K., Bjorkman, A.D., Dempewolf, H., Ramirez-Villegas, J., Guarino, L., Jarvis, A., Rieseberg, L.H. & Struik, P.C. 2014. Increasing homogeneity in global food supplies and the implications for food security. *PNAS*, 111: 4001-4006.
- Khumairoh, U., Groot, J.C.J. & Lantinga, E.A. 2012. Complex agro-ecosystems for food security in a changing climate. *Ecology and Evolution*, 2: 1696-1704.
- Küstermann, B., Kainz, M. & Hülsbergen, K.-J. 2008. Modeling carbon cycles and estimation of greenhouse gas emissions from organic and conventional farming systems. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 23: 38-52.
- Lahmar, R., Bationo, B.A., Lamso, N.D., Guéro, Y. & Tittonell, P. 2012. Tailoring conservation agriculture technologies to West Africa semi-arid zones: Building on traditional local practices for soil restoration. *Field Crops Research*, 132: 158-167.
- Liang, K.A., Zhang, J., Lin, T., Quan, G. & Zhao, B. 2012. Control effects of two-batch-duck raising with rice framing on rice diseases, insect pests and weeds in paddy field. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 4(5): 309-315.
- Long, P., Huang, H., Liao, X., Fu, Z., Zheng, H., Chen, A. & Chen, C. 2013. Mechanism and capacities of reducing ecological cost through rice-duck cultivation. *J. Sci. Food Agric.*, 93: 2881-2891.
- Mapfumo, P., Chikowo, R. & Mtambanengwe, F. 2010. *Lack of resilience in African smallholder farming: Exploring measures to enhance the adaptive capacity of local communities to climate change*. Final Technical Report to the IDRC-DfID Climate Change Adaptation in Africa (CCA) program. Harare, University of Zimbabwe. 99 pp.
- Marie, B. & Delpeuch, F. 2005. *Nutrition indicators for development. Reference Guide*. Nutrition Planning, Assessment and Evaluation Service, Food and Nutrition Division. Rome, FAO.
- Martinez-Torres, M.E. & Rosset, P.M. 2014. Dialogo de saberes in La Via Campesina: food sovereignty and agroecology. *J. of Peasant Studies*, 41: 979-997.
- Medaests, J.P., Kleber Pettan, K. & Takagi, M. 2003. *Family farming and food security in Brazil*. OCDE, Global Forum on Agriculture, Designing and Implementing pro-Poor Agricultural Policies, Brasília, November 2003.



- Mirsky, S.B., Ryan, M.R., Curran, W.S., Teasdale, J.R., Maul, J., Spargo, J.T., Moyer, J., Grantham, A.M., Weber, D., Way, T.R. & Camargo, G.G.** 2012. Conservation tillage issues: Cover crop-based organic rotational no-till grain production in the mid-Atlantic region, USA. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 27: 31-40.
- Murray, C.** 2014. *Low-risk diet vs. availability: A Mismatch*. Institute for Health Metrics and Evaluation, University of Washington.
- Nezomba, H., Mtambanengwe, F., Tittonell, P. & Mapfumo, P.** 2015. Point of no return? Rehabilitating degraded soils for increased crop productivity on smallholder farms in eastern Zimbabwe. *Geoderma*, 239: 143-155.
- Niggli, U., Fließbach, A., Hepperly, P. & Scialabba, N.** 2009. Low Greenhouse Gas Agriculture: Mitigation and Adaptation Potential of Sustainable Farming Systems. *Ökologie & Landbau*, 141: 32-33.
- Oomen, G.** 2012. *Tarweteelt. Vergelijking van drie teeltsystemen*. Wageningen University. 54pp.
- Paes-Sousa, R. & Vaitsman, J.** 2014. The Zero Hunger and Brazil without Extreme Poverty programs: a step forward in Brazilian social protection policy. *Ciênc. saúde coletiva*, 19: 4351-4360.
- Ponisio, L.C., M'Gonigle, L.K., Mace, K.C., Palomino, J., de Valpine, P. & Kremen, C.** 2014. Diversification practices reduce organic to conventional yield gap. *Proc. R. Soc. B*, 282(1799): 20141396.
- Pretty, J., Toulmin, C. & Williams, S.** 2011. Sustainable intensification in African agriculture. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 9: 5-24.
- Reich, P.F., Numbem, S.T., Almaraz, R.A. & Eswaran, H.** 2001. Land resource stresses and desertification in Africa. In E.M. Bridges, I.D. Hannam, L.R. Oldeman, F.W.T. Pening, S.J. de Vries, S.J. Scherr & S. Sompatpanit, eds. *Responses to Land Degradation*. Proceedings of the 2nd International Conference on Land Degradation and Desertification, Khon Kaen, Thailand. New Delhi, Oxford University Press.
- Reidsma, P., Oude Lansink, A. & Ewert, F.** 2009. Economic impacts of climate variability and subsidies on European agriculture and observed adaptation strategies. *Mitigation Adaptation Strategies for Global Change*, 14: 35-59.
- Rossing, W.A.H., Modernel, P., Tittonell, P.** 2013. Diversity in organic and agro-ecological farming systems for mitigation of climate change impact, with examples from Latin America. In J. Fuhrer & P.J. Gregory, eds. *Climate change Impact and Adaptation in Agricultural Systems*. CABI.
- Seufert, V., Ramankutty, N. & Foley, J.A.** 2012. Comparing the yields of organic and conventional agriculture. *Nature*, 485: 229-232.
- Sevilla-Guzmán, E. & Woodgate, G.** 2013. Agroecology: Foundations in Agrarian Social Thought and Sociological Theory. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 37: 32-44.
- Silici, L.** 2014. *Agroecology: What it is and what it has to offer*. International Institute of Environment and Development Issue Paper. London.
- Stoop, W.A.** 2011. The scientific case for system of rice intensification and its relevance for sustainable crop intensification. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 9: 443-455.
- Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., Belfort, B.L.** 2011. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *PNAS*, 108: 20260-20264.
- Tittonell, P.** 2014. Ecological intensification – sustainable by nature. *Current Opinion on Environmental Sustainability*, 8: 53-61.
- Tittonell, P. & Giller, K.E.** 2013. When yield gaps are poverty traps: The paradigm of ecological intensification in African smallholder agriculture. *Field Crop Res.*, 143: 76-90.
- Tittonell, P., Muriuki, A.W., Shepherd, K.D., Mugendi, D., Kaizzi, K.C., Okeyo, J., Verchot, L., Coe, R. & Vanlauwe, B.** 2010. The diversity of rural livelihoods and their influence on soil fertility in agricultural systems of East Africa - A typology of smallholder farms. *Agricultural Systems*, 103: 83-97.



- Tomich, T.P., Brodt, S., Ferris, H., Galt, R., Horwath, W.R., Kebreab, E., Leveau, J.H.J., Liptzin, D., Lubell, M., Merel, P., Michelmore, R., Rosenstock, T., Scow, K., Six, J., Williams, N. & Yang, L.** 2011. Agroecology: A Review from a global-change perspective. *Annual Review of Environment and Resources*, 36: 193-222.
- Tuomisto, H.L., Hodge, I.D., Riordan, P. & Macdonald, D.W.** 2012. Does organic farming reduce environmental impacts? A meta-analysis of European research. *Journal of Environmental Management*, 112: 309-320.
- UNCTAD.** 2014. *Economic Development in Africa Report 2014: Catalysing Investment for Transformative Growth in Africa*. Geneva, Switzerland (http://unctad.org/en/PublicationsLibrary/aldcafrica2014_en.pdf).
- Valbuena, D.F., Groot, J.C.J., Mukalama, J., Gerard, B. & Tittone, P.A.** 2014. Improving rural livelihoods as a 'moving target': trajectories of change in smallholder farming systems of Western Kenya. *Regional Environmental Change*. DOI: 10.1007/s10113-014-0702-0.
- van Ittersum, M.K., Cassman, K.G., Grassini, P., Wolf, J., Tittone, P. & Hochman, Z.** 2013. Yield gap analysis with local to global relevance – a review. *Field Crop Res.*, 143: 4-17.
- Vereijken, P.** 1997. A methodical way of prototyping integrated and ecological arable farming systems (I/EAFS) in interaction with pilot farms. *European Journal of Agronomy*, 7: 235-250.
- Vlek, P., Le, Q.B. & Tamene, L.** 2008. *Land Decline in Land-rich Africa – A Creeping Disaster in the Making*. CGIAR Science Council Secretariat. Rome. 55 pp.
- 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: 503-515.
- Xie, J., Hu, L., Tang, J., Wu, X., Li, N., Yuan, Y., Yang, H., Zhang, J., Luo, S., & Chen, X.** 2011. Ecological mechanisms underlying the sustainability of the agricultural heritage rice-fish coculture system. *PNAS*, 108(50): E1381–E1387.



02

AMÉLIORER LE FONCTIONNEMENT ET LA FOURNITURE DES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES EN AGRICULTURE; PRINCIPES DE L'AGROÉCOLOGIE

Etienne Hainzelin

Cirad (Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement)
Courriel: etienne.hainzelin@cirad.fr



© INRA/Christian Dupraz



Résumé

L'agroécologie, étant fondée essentiellement sur l'utilisation de la biodiversité et des services écosystémiques pour la production agricole, représente de ce fait une rupture fondamentale avec la façon dont la science dominante considère et analyse l'agriculture depuis plus d'un siècle.

La définition de l'agroécologie ne fait pas l'objet d'un consensus; il s'agit d'un espace conceptuel dans lequel la durabilité agricole est envisagée à travers le prisme de fortes interactions entre la science et la société, avec toutes sortes de nouveaux concepts, questionnements et outils.

Parmi les diverses 'incarnations' de l'agroécologie, leur plus petit dénominateur commun se trouve au niveau de la parcelle cultivée. Le principe de base et commun à toutes ces acceptions est d'augmenter la production de biomasse en améliorant les services écosystémiques fournis par les organismes vivants et en retirant un avantage optimal des ressources naturelles, notamment celles qui sont abondantes et gratuites (p. ex. le rayonnement solaire, le carbone et l'azote atmosphériques, les précipitations). L'agroécologie s'attache à gérer la production, et dans certains cas à l'augmenter, d'une façon qui soit durable et résiliente, protectrice et amélioratrice du capital naturel dans le long terme. Elle produit une amélioration des processus écologiques et des interactions de la biodiversité fonctionnelle, au dessus et au dessous de la surface du sol, dans la durée et dans

l'espace, tant par une intensification des cycles biologiques des nutriments, de l'eau et de l'énergie qu'en maîtrisant les agressions sur les cultures.

Du fait de l'implication des services agroécosystémiques, l'agroécologie s'intéresse depuis longtemps aux systèmes à grande échelle (c.-à-d. l'exploitation, le paysage, le bassin versant, la filière, le système alimentaire). L'agroécologie est étroitement imbriquée avec la recherche interdisciplinaire, portant notamment sur les moteurs du développement agricole que sont l'industrie et la distribution agroalimentaires, la santé du consommateur, les politiques publiques, etc.

Du fait de son étroite dépendance par rapport aux ressources naturelles disponibles à l'échelon local, dont l'agrobiodiversité, l'agroécologie ne saurait dispenser aux agriculteurs des «paquets technologiques» prêts à l'emploi. Au lieu de cela, les modèles et solutions de l'agroécologie sont élaborés par une hybridation des savoirs scientifiques et traditionnels, et en s'appuyant solidement sur les processus locaux d'apprentissage et d'innovation.

Face aux nombreux défis qui se profilent à l'horizon, l'agroécologie propose une véritable voie alternative pour la transformation de l'agriculture, tout en remettant en cause le rôle et les pratiques de la recherche agricole, et en proposant de lui apporter un renouveau substantiel.



INTRODUCTION

Face aux défis de plus en plus écrasants auxquels est confrontée la planète: sécurité alimentaire et nutritionnelle, dégradation de la biodiversité et de l'intégrité des écosystèmes, changement climatique, transition énergétique et décarbonisation de l'économie, etc., la durabilité devient une nécessité absolue et il est urgent d'apprendre à la mettre en œuvre de façon concrète. L'agriculture mondiale, au même titre que toutes les autres activités de l'homme, doit s'interroger sur les moyens d'arriver à une véritable amélioration de sa durabilité. L'agroécologie représente une approche concrète de la transformation de l'agriculture mondiale, prise dans son immense diversité, en systèmes et en formes plus durables.

Du fait que l'agriculture utilise près de 45% des terres émergées du globe, plus des trois quarts de l'eau douce disponible, et fournit à presque la moitié de la population active emplois et moyens d'existence, elle est liée de façon inextricable à certains des défis les plus cruciaux qu'affronte notre monde – comme il a été dit ci-dessus (Hainzelin, 2014).

L'avenir de l'agriculture n'est pas gravé dans le marbre; aucune loi universelle ne contraint l'agriculture des pays en voie de développement à suivre le même cheminement de modernisation par l'industrialisation qu'ont emprunté la plupart des pays riches. Il y a de toute évidence un besoin absolu d'améliorer la productivité de la terre et du travail pour arriver à maîtriser la pression foncière, à protéger les écosystèmes vulnérables et à éviter la déforestation, mais le choix des stratégies et modes d'intensification est la grande question actuelle. L'agroécologie représente une nouvelle approche de l'intensification, une 'famille' de cheminements évolutifs qui concerne l'ensemble des systèmes agricoles: depuis l'agriculture manuelle, 'bio par défaut', des régions où le processus d'intensification n'a pas encore démarré, jusqu'aux agrosystèmes industrialisés qui sont contraints de revoir leur modèle, parce que non durable.

Le présent chapitre se propose de passer en revue les principes de base de l'agroécologie, et d'examiner la façon dont ses incarnations variées mobilisent les services écosystémiques pour arriver à une production intensifiée et durable. Nous passerons ensuite aux implications de ces principes en termes de la prise en compte des contextes et savoirs traditionnels à l'échelon local. Pour finir, nous nous pencherons sur le rôle qu'est appelée à jouer la recherche scientifique pour contribuer à construire de nouveaux chemins d'intensification.

L'AGROÉCOLOGIE OUVRE LA VOIE À UN LARGE ÉVENTAIL DE SOLUTIONS POUR TRANSFORMER L'AGRICULTURE EN AMÉLIORANT SES PERFORMANCES ET SA DURABILITÉ

Un changement de paradigme

L'agroécologie représente une rupture fondamentale avec la façon dont la science dominante considère et analyse l'agriculture depuis plus d'un siècle – dans une perspective profondément réductionniste et en dépendant de plus en plus d'intrants exogènes. Ce point de vue dominant

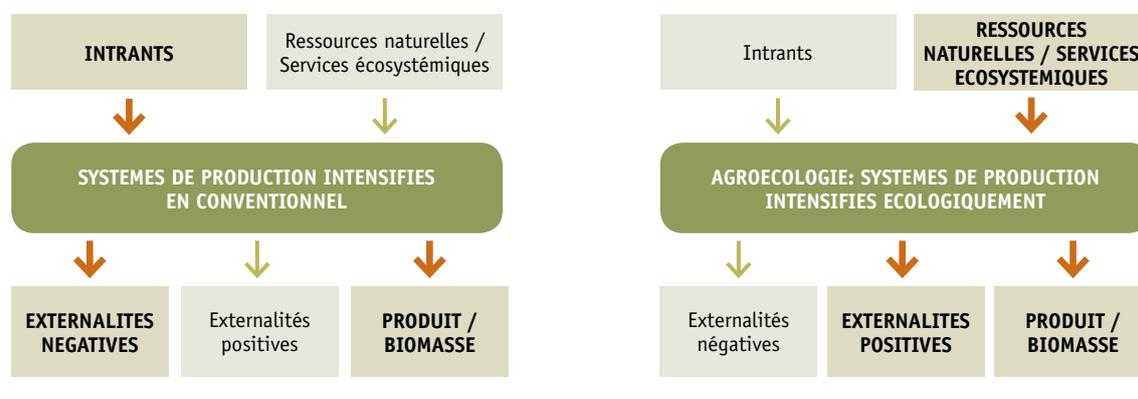


voit l'évolution logique de l'agriculture comme une intensification des rendements au moyen de variétés hautement productives et de grandes quantités d'intrants externes (engrais, pesticides, irrigation, etc.). Ce modèle d'"intensification industrielle" a formé la base de l'agriculture industrialisée comme celle de la 'Révolution Verte'. Il repose sur une forte spécialisation des cultures, fréquemment réduites à un couvert végétal uniforme et synchrone, consistant idéalement en un unique génotype d'une espèce principale, tous les autres organismes vivants étant systématiquement considérés comme des 'facteurs limitants' et éliminés. Longtemps perçu comme l'ultime modèle productif, ce mécanisme voit aujourd'hui sa durabilité mise en cause, parce qu'il ne prend pas en compte l'importance de la biodiversité comme force motrice des processus de production et de régulation au sein des écosystèmes. En dépit d'avancées spectaculaires en termes de productivité (économies d'échelle, homogénéité, mécanisation, etc.), il est à l'origine d'un appauvrissement extrême des interactions biotiques (Figure 1).

Reconnaissant pleinement la double nécessité de l'intensification et de la durabilité, plusieurs auteurs, dont Pretty et Bharucha (2014), travaillent sur le concept de «l'intensification durable», définie comme un «*processus ou système où les rendements agricoles sont améliorés sans impact environnemental nocif*». Ce concept, sur lequel il n'y a guère de difficulté à atteindre un consensus, ne spécifie pas un itinéraire ou une technologie particuliers; l'accent est mis sur les fins plutôt que les moyens, ceux-ci pouvant être des plus divers (Pretty et Bharucha, 2014).

D'un autre côté, l'agroécologie s'intéresse énormément aux moyens: elle se base principalement sur le renforcement de la mise en valeur des ressources naturelles, ainsi que des fonctionnalités de la biodiversité et des services écosystémiques à la base de la production agricole, tels que la maîtrise naturelle des ravageurs, l'entretien de la fertilité du sol et la pollinisation. Vue ainsi, il s'agit bien d'une 'intensification écologique'. Elle est en rupture avec l'intensification conventionnelle, mais parfaitement en phase avec les autres transformations qu'a connues l'agriculture depuis son apparition au néolithique: processus de domestication et de sélection, suivis de l'association agriculture-élevage, de la rotation avec des légumineuses, du labour, puis du zéro labour, etc.

Figure 1. **Comparaison des chemins conventionnel et écologique d'intensification dans les systèmes agricoles**



Source: adapté d'après Griffon, 2013



Une façon nouvelle d'envisager les performances

Compte tenu de la nécessité de la durabilité, qu'entend-on exactement par performances de la production agricole? La multifonctionnalité de l'agriculture est désormais un lieu commun, comme l'exprime le passage suivant extrait de l'Évaluation internationale des connaissances, des sciences et des technologies agricoles pour le développement:

*«D'autres fonctions importantes en vue du développement durable sont l'apport de produits non alimentaires; celui de services écologiques et de protection environnementale; l'amélioration des moyens d'existence; le développement économique; la création d'opportunités d'emploi; la sécurité et la qualité nutritionnelle des aliments; la stabilité sociale; la préservation des cultures, traditions et identités»
(IAASTD, 2009).*

La productivité agricole ne saurait être mesurée uniquement par celle du travail ou de la terre. Les externalités négatives ainsi que l'apport de services et commodités écosystémiques doivent entrer en ligne de compte. Qui plus est, ces éléments doivent être quantifiés dans la durée afin de pouvoir évaluer l'impact à long terme sur les potentialités et la résilience des écosystèmes. Cette performance multicritères, un élément crucial de l'évaluation de la durabilité, nourrit actuellement un débat: si un grand nombre d'indicateurs sont mis sur la table, très peu font consensus. Une méta-analyse récente, exploitant 49 articles de recherche publiés en Europe, en a extrait plus de 500 indicateurs de durabilité, dont la très grande majorité (431) utilisés une seule fois (Buckwell, 2014). Cela illustre le manque d'instruments communs d'analyse de la durabilité, alors même que de nombreuses initiatives de recherche sont en cours pour arriver à sa caractérisation plus précise (Caron *et al.*, 2014).

Les principes de l'agroécologie conduisent à soumettre à une nouvelle analyse toutes les interventions techniques sur les systèmes de production agricole. Cette analyse se base sur une vision à long terme d'aggradation', consistant à bâtir sur les fondations existantes, avec comme objectif notamment d'améliorer le capital naturel. L'exemple du labour illustre la nécessité d'arriver à faire la part des effets positifs attendus (p. ex. réduire les adventices, accroître la porosité du sol) et les effets négatifs (p. ex. coûts en équipements et énergie, risques d'érosion et perturbation de la biodiversité du sol) (Griffon, 2013).

À DÉFAUT D'UNE DÉFINITION COMMUNE, L'AGROÉCOLOGIE A DE NOMBREUSES 'INCARNATIONS'

Malgré les nombreux universitaires qui ont donné de l'agroécologie des descriptions riches en détails et reposant sur une base conceptuelle saine (Altieri, 1995; Gliessman, 1998), elle n'a pas à ce jour de définition claire et consensuelle. Sa nature même fait l'objet d'un débat animé - science, mouvement social, ou communauté de pratiques - ce qui illustre à quel point sa nature dépend du point de vue de l'auteur (Wezel *et al.*, 2009). L'agroécologie a des 'incarnations', aussi



nombreuses que variées. Dans la famille des incarnations comme 'communauté de pratiques', nous pouvons citer la permaculture, l'agriculture bio, l'éco-agriculture, l'agriculture de conservation, l'agriculture pérenne, le zéro labour ou le labour minimum, etc. – chacune de ces pratiques s'attachant à un aspect spécifique de l'agroécologie. L'expression «intensification écologique» se réfère davantage à la gamme de moyens à mobiliser en priorité pour transformer l'agriculture par l'agroécologie (Griffon, 2013; Tiftonell, 2013; 2014). Côté science, les universitaires ont matière à un débat sans fin pour savoir si l'agroécologie constitue une nouvelle discipline scientifique, une transdiscipline ou une interdiscipline, non sans noter que ses concepts et ses méthodes restent d'une grande fluidité.

La diversité des sujets traités par les articles de recherche portant sur l'agroécologie est extrême elle aussi. Xavier Reboud (comm. pers.) a analysé plus de 2 500 références d'articles scientifiques sortis entre 1975 et 2010, et qui utilisaient le terme «agroécologie» ou lui étaient liés sans nécessairement utiliser le terme. Sa tentative de regrouper et de cartographier les questions ou thèmes scientifiques liés à l'agroécologie a abouti à une grande diversité de domaines, objets de recherche, échelles de grandeur, etc.

La définition de l'agroécologie ne fait pas donc l'objet d'un consensus mais il s'agit clairement d'un espace conceptuel dans lequel la durabilité agricole est aussi envisagée à travers le prisme de fortes interactions entre la science et la société, avec toutes sortes de nouveaux concepts, questionnements et outils. Le fait même que la définition de l'agroécologie reste dans un certain flou est considéré par certains auteurs comme une opportunité et une richesse; cette diversité de perspectives crée des débats animés, et constitue une source prometteuse de nouvelles idées et de nouveaux concepts (Griffon, 2013).

Le plus petit dénominateur commun des diverses 'incarnations' de l'agroécologie se trouve au niveau de la parcelle cultivée. Le principe de base et commun à toutes ces acceptions est d'augmenter la production de biomasse en améliorant les services fournis par les organismes vivants et en retirant un avantage optimal des ressources naturelles, notamment celles qui sont abondantes et gratuites (p. ex. le rayonnement solaire, le carbone et l'azote atmosphériques, les précipitations).

DE QUELLE FAÇON L'AGROÉCOLOGIE MOBILISE-T-ELLE LA BIODIVERSITÉ ET LES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES À L'ÉCHELON DE LA PARCELLE CULTIVÉE?

Mettre les services écosystémiques au service de l'intensification grâce à trois leviers principaux

Pour commencer, l'agroécologie cherche à optimiser la biodiversité fonctionnelle aérienne, sur diverses échelles spatiales et temporelles, de façon à intensifier les cycles biologiques des nutriments, de l'eau et de l'énergie (Malézieux *et al.*, 2009). L'amplification de ces cycles, dont chacun constitue un service écosystémique, vise à accroître la production de biomasse, en



s'attachant plus particulièrement à la biomasse récoltée (nourriture, fibres, énergie, etc.). Une attention soutenue est portée à l'impératif de conserver les ressources naturelles et d'améliorer le potentiel de l'écosystème local. La mise en œuvre des différentes ressources, tant au-dessus qu'au-dessous de la surface du sol, est maximisée en jouant sur la complémentarité spatiale des niches, de l'architecture des couverts végétaux et des systèmes racinaires entre les espèces présentes (dont les 'espèces de service', cultivées en vue d'apporter un service spécifique), et en les combinant de manière temporelle planifiée à l'échelle annuelle et pérenne, etc.

Deuxièmement, la biodiversité fonctionnelle est mise à profit pour limiter les populations de bio-agresseurs tels qu'adventices, ravageurs et maladies transmises par le sol, préjudiciables à la biomasse récoltée. On ne compte plus les exemples d'utilisation de la lutte biologique, de l'augmentation des populations de prédateurs des ravageurs et agresseurs, des effets de l'allélopathie et des techniques de détournement stimulo-dissuasif à l'encontre des agresseurs. L'agroécologie plaide pour un enrichissement de nos connaissances sur la façon dont les équilibres spatio-temporels et interactions biologiques, les chaînes trophiques et l'écologie spécifique peuvent contribuer à la lutte contre les agresseurs (Ratnadass *et al.*, 2014).

Troisièmement, l'agroécologie gère la biodiversité fonctionnelle sous la surface du sol en amplifiant les cycles biogéochimiques dans celui-ci, recyclant les nutriments issus des profils en profondeur et intensifiant l'activité microbienne. C'est sans doute le domaine où l'intensification conventionnelle et écologique diffèrent le plus; cette dernière compte presque exclusivement sur les engrais et les amendements pour satisfaire les besoins en nutriments du couvert végétal, alors que la première mobilise et augmente l'activité des communautés vivantes du sol pour intensifier les cycles des nutriments. L'agroécologie ne dispense pas de la nécessité de compenser les exportations de nutriments, mais du fait qu'elle fournit un substrat pédologique plus ample et plus actif, tout en limitant les pertes en nutriments, l'utilisation des engrais est plus parcimonieuse. C'est donc une approche de l'intensification totalement différente, mais il reste encore beaucoup à découvrir sur les différentes façons d'appliquer ce principe. Les cycles dans le sol sont un monde largement inexploré et 10 pour cent seulement de la biodiversité du sol – qui représente un quart du total des espèces vivantes – a été décrit. De plus, on n'en sait que très peu sur la façon dont la biodiversité du sol fonctionne selon les différents types de sols. La faune et la biomasse microbienne du sol peuvent représenter jusqu'à 10 t/ha, mais peuvent aussi être fortement dégradés et quasiment disparaître du fait des techniques agricoles modernes (Eglin *et al.*, 2010).

Avantages attendus

Il est clair que l'agroécologie dépend beaucoup plus que l'agriculture conventionnelle des ressources disponibles localement et de son environnement. Le climat, notamment le volume et la répartition des précipitations, la nature et la richesse du sol, la biodiversité disponible, etc., entrent dans l'équation locale et concrète de l'agroécologie. Dès lors, les avantages qu'on peut en attendre vont différer en fonction du contexte, mais ils seront généralement de trois sortes:

- » un accroissement de la production de biomasse et de la séquestration du carbone dans



les plantes et dans le sol tout au long de l'année, dans des conditions qui mènent à la préservation et à l'amélioration du capital naturel (meilleures biologie et fertilité du sol) dans le long terme;

- » une réduction des coûts d'intrants et de la dépendance technologique, amenée par l'agroécologie du fait qu'elle prélève en priorité des ressources locales gratuites, un meilleur bilan énergétique de la culture, et une réduction des externalités causées par les intrants au détriment de la santé des humains et de l'environnement;
- » une meilleure stabilité des résultats et une meilleure capacité d'adaptation au stress, aux perturbations et aux agresseurs, du fait que l'agroécologie ne dépend pas de mécanismes synchrones et homogènes.

L'agroécologie n'est pas une baguette magique. Édifier ces nouveaux systèmes et concrétiser les avantages annoncés suppose d'y appliquer une somme considérable de savoir et d'esprit d'innovation. Un des défis à surmonter sera la préservation du bilan minéral au fur et à mesure de l'intensification du système et de l'augmentation de l'exportation de biomasse. Pour certains nutriments, comme le phosphore, cette équation sera particulièrement ardue, mais il peut y avoir là un champ de recherche commune aux approches conventionnelle et agroécologique, en prenant pour les deux la parcimonie comme principe de base. La plupart du temps, l'application des principes de l'agroécologie se traduit par une 'complexification' des systèmes agricoles. On peut voir là un inconvénient, un obstacle à la standardisation et à la mécanisation des techniques, notamment sur les grandes exploitations. Il y a également une discussion en cours sur la comparaison des résultats entre les systèmes conventionnels et agroécologiques. Quand cette comparaison ne s'effectue que sur les rendements, cette comparaison pourra être en faveur de l'intensification conventionnelle. Cependant, quand l'analyse des efficacités de production est combinée avec celle du coût global de production, externalités négatives comprises, la comparaison tourne rarement à l'avantage des systèmes conventionnels. De plus, l'agroécologie applique le principe, largement accepté, qu'il y a des arbitrages à réaliser entre rendements à court terme et durabilité à long terme, alors que les systèmes conventionnels s'attachent davantage au court terme. C'est pourquoi de nouveaux instruments multicritères sont nécessaires pour mesurer les performances des différents systèmes agricoles.

Quelques illustrations concrètes de l'agroécologie appliquée

Les principes de base qui ont été décrits ci-dessus sont déjà appliqués avec succès à grande échelle, tant sur de grandes exploitations mécanisées que sur de petites exploitations. La planification et la gestion de la biodiversité dans l'espace et la durée en vue de son optimisation fonctionnelle signifient un travail sur la diversité génétique - intraspécifique -, mais aussi sur la diversité entre espèces et entre écosystèmes. Cela se traduit toujours par une complexification des systèmes agricoles, non seulement au niveau des parcelles mais également dans le paysage environnant. Parmi la multitude d'exemples disponibles, on trouvera ci-dessous quatre cas mettant en évidence cette complexification.



Techniques de zéro labour au Mato Grosso, Brésil

Dans les zones amazoniennes du Mato Grosso (Brésil), des techniques de zéro labour, associées à diverses combinaisons et cultures multiples successives, sont appliquées sur une superficie de 10 millions d'hectares. Les précipitations y sont très élevées, et la monoculture conventionnelle de soja, sur des surfaces forestières défrichées, laisse le sol sans couvert végétal et provoque une érosion considérable. En cultivant des plantes de service en intercalaires avec les cultures commerciales, les principes appliqués sont les suivants: i) maintenir le sol sous couvert végétal ou de biomasse directement sur le sol, et ii) arriver à un enracinement profond et robuste, en lui assurant une viabilité tout au long de l'année, tant durant les mois très humides que durant les mois sans précipitations. L'application de ces deux principes permet de préserver l'activité biologique dans le sol et la production de biomasse durant toute l'année, d'éliminer l'érosion, et d'amplifier les cycles des nutriments à partir des horizons pédologiques les plus profonds (Séguy et Bouzinac, 2008). La surface totale sous agriculture de conservation (zéro labour, cultures de couverture) au Brésil avoisine actuellement les 18 millions d'hectares, tant sur très grandes exploitations que sur petites exploitations (Scopel *et al.*, 2005).

Systèmes 'push-pull' en Afrique

Pour lutter contre les foreurs de tiges du maïs en Afrique, le Centre international de physiologie et d'écologie des insectes (ICIPE) a mis au point une utilisation conjointe de 'plantes-pièges' (herbe du Soudan, herbe à éléphants) et de 'plantes répulsives' (herbe à miel, *Desmodium uncinatum*), qui agissent respectivement en attractif et répulsif pour le foreur cherchant à pondre, l'idée étant d'optimiser leurs effets partiels en les combinant. Un tel procédé est appelé 'détournement stimulo-dissuasif des ravageurs' ou plus simplement 'système push-pull'. Il se prête à d'innombrables combinaisons d'espèces et de types d'environnements (cultures intercalaires, 'péri-culture', etc.) pour la lutte contre les agresseurs des cultures (Ratnadas *et al.*, 2014). Cette famille de techniques, peu coûteuses mais faisant appel à l'intelligence et à l'esprit d'innovation des agriculteurs, se répand rapidement chez de plus en plus de petits exploitants en Afrique.

Systèmes d'agroforesterie tempérée en Europe

L'agroforesterie est un système agricole traditionnel dans de nombreuses régions tropicales, comme c'était le cas en Europe avant l'intensification de l'agriculture. L'association entre espèces annuelles et pérennes peut être très complexe et à l'origine de nombreux avantages: meilleure exploitation des ressources, diversification de la production, complémentarité sur l'espace et la durée, meilleure capacité d'absorption des chocs, etc. La recherche s'intéresse actuellement de très près à la réintroduction d'espèces arborées au sein de grandes cultures intensifiées et mécanisées. Le grand projet européen «SAFE», mis en œuvre dans sept pays par association de cultures céréalières avec différentes espèces d'arbres (noyer, cerisier, peuplier, chêne) a eu des résultats très positifs (autrement dit, l'addition de un plus un peut égaler plus que deux) en termes de rendement global (jusqu'à 30 pour cent en plus par rapport à la culture en parcelles distinctes), avec des avantages supplémentaires en termes de séquestration du carbone, de rentabilité, de capacité d'adaptation, etc. La réintroduction d'arbres dans les grandes exploitations européennes de monoculture ne se produira pas en un jour; elle



nécessitera du temps, en raison de la révolution qu'elle suppose au niveau des mentalités, mais en fin de compte elle pourrait concerner jusqu'à 35 millions d'hectares en Europe (Dupraz et Capillon, 2005).

Espèces de service pour la lutte contre les ravageurs aux Antilles françaises:

De façon générale, les cultures bananières sont abondamment traitées avec divers pesticides (jusqu'à 80 fois par an en Amérique centrale) et il en résulte de sérieuses inquiétudes pour la santé des humains et des écosystèmes. Un programme original de recherche et développement a été lancé aux Antilles françaises, avec une organisation de producteurs, pour trouver des moyens de réduire le recours aux pesticides sans perdre le contrôle sur les ravageurs. Une grande variété d'espèces de service, en couvert végétal à divers stades de la culture bananière, ainsi que de spéculations à cultiver entre les cycles de bananiers, a été testée en vue de réduire les populations de ravageurs (nématodes, charançons), améliorer la porosité du sol, et maîtriser adventices et érosion. Des recherches extrêmement fines en écologie spatiale et trophique ont été menées, impliquant différentes espèces en association avec d'autres techniques agroécologiques (pièges à phéromones, gestion des jachères, amélioration variétale, etc.). Les résultats sont très encourageants; les doses de pesticides ont été réduites (passant de 12 kg/ha en 2006 à 4 kg/ha en 2012), surtout pour les insecticides, tout en continuant de maîtriser les nématodes et les charançons, et en réduisant le coût global de production (Risède *et al.*, 2010).

L'AGROÉCOLOGIE TRAVAILLE DEPUIS LONGTEMPS À UNE ÉCHELLE DÉPASSANT LA PARCELLE

Parce que l'agroécologie se penche sur des services écosystémiques qui sont fréquemment mobilisés à une échelle dépassant celle de la parcelle, ses concepts sont appliqués depuis longtemps à une échelle plus vaste – l'exploitation, le paysage, le bassin versant, la filière et, en fin de compte, le système alimentaire. Ces innovations vont en général dans une seule et même direction, à savoir une diversification et une complexification des systèmes de production qui exigent planification, gestion et coordination aux échelons plus élevés (Tiftonell, 2013). Affronter les ravageurs ou les insectes au niveau de la parcelle suppose une prise en compte de différents aspects trophiques, dont celui de la population des ennemis naturels présente à l'échelle du paysage. Face à une érosion des sols sur la pente d'un bassin versant, il est nécessaire de prendre des mesures pour améliorer la 'rugosité' du terrain que traverse la pente. Les communautés désireuses d'optimiser la production agricole et l'efficacité du système alimentaire sont fréquemment conduites à mieux coordonner entre elles leurs différentes stratégies de production. L'agroécologie doit prendre en considération les communautés vivantes de la parcelle, de sa périphérie, et des écosystèmes non cultivés à l'échelle du paysage. Cette nécessité d'une coordination, tant entre agriculteurs qu'avec les autres communautés, peut être envisagée comme une contrainte et comme une opportunité pour l'agroécologie.

En fait, dans les régions où l'application de l'agroécologie remonte à une période assez ancienne, il apparaît clairement qu'il se produit une co-évolution entre les systèmes techniques et les sociétés rurales – entre les systèmes écologiques et sociaux. Altieri et ses collègues



ont démontré dans les faits le degré auquel les initiatives prises par les petits exploitants sont essentielles à l'innovation et à la diffusion de l'agroécologie (Altieri 1995; Altieri et Nicholls, 2012). Cela signifie que les interactions entre les dynamiques sociales entre exploitants (organisations, coopération, processus d'apprentissage, relations avec les autres parties prenantes de la filière, etc.) et les innovations techniques à différents niveaux sont cruciales pour arriver à une transformation bénéfique.

Enfin, nombre d'éléments moteurs de la transformation agricole échappent au contrôle des producteurs (p. ex. l'économie agro-commerciale, les chaînes d'approvisionnement d'intrants en amont et les chaînes de valeur en aval), ou sont même entièrement étrangères au monde agricole (industrie et distribution alimentaires, marchés de consommation urbains, politiques publiques et réglementations, etc.). Il en résulte que la transition agroécologique est largement tributaire de paramètres qui peuvent se révéler 'favorables' ou 'handicapants'.

Pour toutes ces raisons, l'agroécologie s'est trouvée dès son apparition face à des problèmes complexes, mêlant les mécanismes biologiques et écologiques, parfois à une échelle infime, et les questions humaines, sociales et politiques où l'échelle peut facilement devenir celle de la planète (Wezel *et al.*, 2009). L'intégration de ces extrêmes disparités d'échelle génère des questionnements radicalement neufs, pour lesquels les scientifiques sont généralement mal préparés (Chevassus-au-Louis *et al.*, 2009).

L'AGROÉCOLOGIE DÉPEND ÉTROITEMENT DES RESSOURCES DISPONIBLES SUR PLACE

L'agroécologie donne la priorité à l'utilisation des ressources locales, agrobiodiversité comprise. Il s'ensuit qu'elle dépend étroitement des contextes et potentiels locaux. Les divers paramètres climatiques, édaphiques et biologiques qui caractérisent un contexte local donné vont affecter les ressources disponibles et dicter la forme des systèmes techniques possibles à même de tirer le maximum de ces ressources. C'est pour cette raison que l'agroécologie, plutôt que de prescrire des paquets techniques «prêts à porter», s'emploie à répondre aux besoins des agriculteurs avec une gamme optimisée d'options techniques qu'il revient aux exploitants de combiner et de perfectionner (Caron *et al.*, 2014). Il y a là une différence cruciale avec l'intensification conventionnelle en termes d'approche: les modèles et les solutions sont assemblés à partir d'un jeu cohérent de savoirs scientifiques et traditionnels et ils s'appuient étroitement sur les processus d'apprentissage et d'innovation au sein de l'ensemble des parties prenantes locales.

Diverses implications

Une conséquence de l'importance du contexte local et de la transition du 'prêt-à-porter' au 'sur-mesure' pour les systèmes agricoles est que les producteurs, avec leurs réseaux, sont désormais au centre de systèmes locaux d'innovation. Il n'y a plus de prescription technique uniforme; Les exploitants doivent devenir plus autonomes dans les domaines techniques, mais également sociaux, organisationnels et politiques.



Cela signifie que la science doit être en mesure d'alimenter les systèmes locaux d'innovation en savoirs scientifiques pertinents et d'apporter une nouvelle ingénierie du savoir, en prenant pour base les connaissances des agriculteurs. L'agroécologie a besoin de la science de pointe non seulement pour pouvoir associer diverses disciplines et échelles, mais encore pour pouvoir combiner des savoirs qui diffèrent par leur origine et leur degré de fiabilité, d'une façon propice aux dynamiques d'apprentissage et d'innovation. L'expérience pratique, y compris celle passant par les champs-écoles paysans et les échanges entre agriculteurs innovants, montre à quel point ces processus participatifs sont exigeants, mais aussi combien ils peuvent se révéler fructueux.

Une autre conséquence importante du passage à l'agroécologie concerne le statut de l'agrobiodiversité. Cet élément-clé de la résilience est le principal levier que les exploitants peuvent actionner pour intensifier, et il est nécessaire qu'il reste accessible aux petits agriculteurs sans bourse délier. Il faut mettre un terme à la dégradation de l'agrobiodiversité, parce qu'elle constitue un capital essentiel pour l'adaptation dans l'avenir; sa conservation *in situ* doit être encouragée à titre de complément indispensable de sa conservation *ex situ* (Louafi *et al.*, 2014).

L'agroécologie représente donc une voie d'intensification radicalement neuve pour la plupart des agriculteurs dans le monde, mais les cheminements pour y parvenir sont divers et nombreux. Pratiquement tout agriculteur est susceptible de les emprunter, les petits paysans aussi bien que les grands exploitants. Dans certaines régions, l'application réussie de l'agroécologie par de nombreux agriculteurs remonte à plusieurs décennies. Néanmoins, les politiques de développement constituent autant d'environnements différents, certains plus propices que d'autres. Les transitions vers l'agroécologie vont renforcer la résilience de l'agriculture et réduire sa dépendance aux intrants, mais elles ont un coût et ne sauraient se produire en l'absence de politiques publiques spécifiques, y compris des politiques ciblant la transition de l'agriculture familiale, la rémunération des services environnementaux, la formation, etc.

CONCLUSION: QUESTIONS CRITIQUES SUR LE RÔLE ET LES PRATIQUES DE LA RECHERCHE AGRICOLE

Face aux nombreux défis qui nous attendent, l'agroécologie constitue une authentique alternative pour une transformation de l'agriculture, tout en conduisant à diverses questions critiques sur le rôle et les pratiques de la recherche agricole; elle appelle à un renouveau substantiel de nos attentes par rapport à la science agronomique. En raison même des spécificités de l'agroécologie, elle a des conséquences directes sur le rôle et les pratiques des chercheurs (Caron *et al.*, 2014):

- » la recherche doit réfléchir à son rôle dans l'agroécologie et à ce qu'elle lui apporte – ouvrir de nouvelles directions de recherche, essayer de se libérer de la 'dépendance au sentier' partout où elle se manifeste, et trouver des façons nouvelles et ouvertes de gérer les savoirs. Il est nécessaire pour cela de renforcer la capacité des chercheurs à mener des actions collectives, au niveau de l'équipe de recherche comme du projet de recherche, en raison du besoin de mieux 'orchestrer' la recherche des multiples institutions actives dans ce domaine, pour éviter les doubles emplois et créer une masse critique.



- » Les chercheurs ne sauraient être les seuls à produire du savoir et à prescrire des technologies; en liaison avec les ingénieurs, qui rassemblent les savoirs existants, ils doivent également devenir des catalyseurs du changement et de l'innovation, et donc être capables de travailler avec différents types de parties prenantes, parfois dans le cadre de partenariats asymétriques, où les forces et puissances en présence ne sont pas nécessairement équilibrées. Les scientifiques doivent prendre en compte les savoirs locaux et entretenir d'étroites interactions personnelles avec les réalités de l'agriculture et les systèmes locaux d'innovation.
- » La recherche agronomique devra étendre ses connexions avec les savoirs de base pour pouvoir jouer un rôle effectif dans la mise en œuvre de l'agroécologie (écologie fonctionnelle, biologie prédictive¹, etc.), mais également étendre sa capacité d'explorer les effets et conséquences à long terme des différentes options, et les instruments nécessaires à cette fin.
- » Les biologistes, et tout particulièrement les sélectionneurs qui travaillent à l'amélioration d'organismes vivants, doivent revoir leur approche et s'ouvrir à la prise en compte d'un plus large éventail d'espèces (domestication des 'espèces de service' qui fournissent d'importants services écosystémiques, y compris des espèces animales ou des micro-organismes) et de nouveaux types de variétés (sélection multi-spécifique et multi-génotype, sélection participative, variétés-à-perfectionner, etc.) La notion de progrès génétique doit être réévaluée à la lumière du concept de performance multi-critères, défini plus haut. L'objectif de tirer le parti maximum de la biodiversité à différentes échelles pourrait déterminer une ère nouvelle pour les biotechnologies.
- » Les agronomes auront à travailler sur la gestion de systèmes agricoles complexes, la combinaison de nombreuses espèces, les enchaînements et pratiques cycliques, et à s'adapter au concept de performance multi-critères. La diversité des points de vue entre les différents mouvements agroécologiques est enrichissante, mais il est nécessaire d'élaborer des concepts, instruments et métriques communs qui englobent cette diversité et facilitent la comparaison et l'invention constructives.

¹ La biologie prédictive est un domaine de la recherche biologique centré sur une compréhension fine (et donc prédictive) de l'expression des gènes, faisant appel à l'intégration de différentes disciplines et d'outils variés.



RÉFÉRENCES

- Ahmadi, N., Bertrand, B. & Glaszmann, J.-C.** 2014. Rethinking plant breeding. In E. Hainzelin, ed. *Cultivating Biodiversity to Transform Agriculture*, pp. 91-140. Netherlands, Springer.
- Altieri, M.A.** 1995. *Agroecology: The Science of Sustainable Agriculture*. 2nd Edition. Boulder, CO, USA, Westview Press.
- Altieri, M.A. & Nicholls, C.I.** 2012. Agroecology Scaling Up for Food Sovereignty and Resiliency. In E. Lichtfouse, ed. *Sustainable Agriculture Reviews*. Vol. 11, pp. 1-29.
- Buckwell, A.** 2014. *Sustainable intensification of European agriculture. A review sponsored by the Rise Foundation*. Brussels, RISE Foundation.
- Caron, P., Bienabe, E. & Hainzelin, E.** 2014. Making transition towards ecological intensification of agriculture a reality: the gaps in and the role of scientific knowledge. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 8: 44-52.
- Chevassus-au-Louis, B., Génard, M., Habib, R., Houllier, F., Lancelot, R., Malézieux, E. & Muchnik, J.** 2009. *L'intégration, art ou science?* Open Science network meeting jointly organized by Inra and Cirad, 3 June 2009. Paris.
- Dupraz, C. & Capillon, A.** 2005. L'agroforesterie: une voie de diversification écologique de l'agriculture européenne? *Cahier d'étude DEMETER - Economie et Stratégies agricoles*. Paris.
- Eglin, T., Blanchart, E., Berthelin, J., de Cara, S., Grolleau, G., Lavelle, P., Richaume-Jolion, A., Bardy, M. & Bispo, A.** 2010. *La vie cachée des sols*. MEEDDM. 20 pp.
- Gliessman, S.R.** 1998. *Agroecology: Ecological Processes in Sustainable Agriculture*. Boca Raton, FL, USA, CRC Press.
- Griffon, M.** 2013. *Qu'est-ce que l'agriculture écologiquement intensive?* Édition Quae. 224 pp.
- Hainzelin, E.** 2014. Introduction. In E. Hainzelin, ed. *Cultivating Biodiversity to Transform Agriculture*, pp. 1-10. Netherlands, Springer.
- IAASTD.** 2009. *Agriculture at a crossroads. A Global Report*. International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development. Washington, DC, Island Press. 606 pp.
- Louafi, S., Bazile, D. & Noyer, J.-L.** 2014. Conserving and Cultivating Agricultural Genetic Diversity: Transcending Established Divides. In E. Hainzelin, ed. *Cultivating Biodiversity to Transform Agriculture*, pp. 181-201. Netherlands, Springer.
- Malézieux, E., Crozat, Y., Dupraz, C., Laurans, M., Makowski, D., Ozier-Lafontaine, H., Rapidel, B., De Tournonnet, S. & Valantin-Morison, M.** 2009. Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. A review. *Agron. Sustain. Dev.*, 29: 43-62.
- Pretty, J. & Bharucha, Z.P.** 2014. Sustainable intensification in agricultural systems. *Annals of Botany*, 114(8): 1571-1596.
- Ratnadass, A., Blanchard, E. & Lecomte, P.** 2014. Ecological interactions within the biodiversity of cultivated species. In E. Hainzelin, ed. *Cultivating Biodiversity to Transform Agriculture*, pp. 141-180. Netherlands, Springer.
- Risède, J.M., Lescot, T., Cabrera Cabrera, J., Guillon, M., Tomekpe, K., Kema, G.H.J. & Cote, F.** 2010. *Challenging short and mid-term strategies to reduce the use of pesticides in banana production*. Banana Field Study – Guide Number 1. ENDURE (available at: www.endure-network.eu/endure_publications).
- Scopel, E., Triomphe, B., Goudet, M., Valadares Xavier, J.-H., Sabourin, E., Corbeels, M. & Macena da Silva, F.** 2005. *Potential role of CA in strengthening small-scale farming systems in the Brazilian Cerrados, and how to do it*. Third World Congress on Conservation Agriculture, Nairobi, Kenya, 3-7 October 2005.



Séguy, L. & Bouzinac, S. 2008. *La symphonie inachevée du semis direct dans le Brésil central*. Montpellier, France, CIRAD.

Tittonell, P. 2013. Farming Systems Ecology: Towards ecological intensification of world agriculture. Inaugural lecture upon taking up the position of Chair in Farming Systems Ecology at Wageningen University, 16 May.

Tittonell, P. 2014. Ecological intensification of agriculture – sustainable by nature. *Curr. Opin. Environ. Sustain.*, 8: 53-61.

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: 503-515.





03

CRÉER DES CYCLES VERTUEUX DANS LES SYSTÈMES DE PETITES EXPLOITATIONS GRÂCE À L'AGROÉCOLOGIE

Paul Mapfumo¹, Florence Mtambanengwe, Hatirarami Nezomba, Tongai Mtangadura, Grace Manzeke, Christopher Chagumaira, Tariro Gwandu, Tinashe Mashavave, Jairos Rurinda

Soil Fertility Consortium for Southern Africa (SOFECSA), Department of Soil Science & Agricultural Engineering, University of Zimbabwe, Harare, Zimbabwe

¹ Auteur correspondant

Courriel: pmapfumo@agric.uz.ac.zw; paulmapfumo@gmail.com



© CIMMYT/T. Samson



Résumé

Les lacunes des systèmes alimentaires actuels et l'accélération de la dégradation de la base de ressources naturelles, suite à la pression croissante exercée sur les systèmes de production agricole par la démographie en expansion et le changement climatique, suscitent de plus en plus d'inquiétudes au niveau mondial. Ces inquiétudes provoquent une remise en question de l'adéquation des approches conventionnelles de la production agricole (influencées par la Révolution Verte) face à l'enjeu de générer des systèmes de production et de moyens d'existence durables et résilients parmi les communautés pauvres de la planète, telles que celles du continent africain. Le présent chapitre s'appuie sur des exemples d'interventions de recherche et développement issus de l'Afrique sub-saharienne pour mettre en lumière la façon dont des approches agroécologiques à l'échelle du champ, de l'exploitation et du paysage sont susceptibles de créer des cycles de nutriments vertueux, déclenchant au niveau supérieur des dynamiques socio-écologiques qui améliorent la sécurité alimentaire et les moyens d'existence des petits exploitants. Des interventions qui comportaient le recours à des légumineuses indigènes herbacées non cultivées et à des séquences planifiées de gestion intégrée de la fertilité des sols (GIFS) ont démontré une capacité potentielle d'inverser le déclin du carbone (C) du sol, l'épuisement des nutriments et la chute des rendements qui affectent les systèmes agricoles conventionnels.

Le présent chapitre va également souligner les défis de la gestion des efficacités d'utilisation des ressources et des nutriments, défis causés par la complexité des interdépendances entre production agricole, réserves de ressources naturelles, systèmes de réseaux de protection sociale et modes d'accès aux savoirs, aux ressources productives et aux technologies, tout cela non linéairement. Les approches de recherche et de vulgarisation examinées ici peuvent créer des plates-formes de co-apprentissage et de co-innovation associant les agriculteurs avec d'autres acteurs, y compris hors du champ de l'agriculture. Ce sont des facteurs critiques de la réussite. De telles approches ouvrent la voie d'échanges et d'avancement, par les agriculteurs, de leurs objectifs de moyens d'existence, tant dans le cadre de l'agriculture que hors de ce cadre, renforçant les cycles vertueux et élargissant les perspectives de collaborations encore plus poussées au fur et à mesure que la demande de nouvelles formes de ressources, technologies et savoir-faire se fera jour. Sur la base de cette expérience, nous avançons que les éléments de résilience et les approches réussies inhérents aux systèmes de petites exploitations qui regroupent la plupart des agriculteurs africains sont essentiellement laissés de côté en faveur des paradigmes actuels de la recherche et du développement agricoles, avec pour conséquence fréquente l'aggravation de leur vulnérabilité.



INTRODUCTION

Le défi que représente l'alimentation d'une population humaine en pleine expansion ne constitue pas un phénomène nouveau dans de nombreuses parties du monde (ONU, 1997). La Révolution Verte de l'agriculture au cours des années 70 est célébrée comme un des points phares du développement du XX^{ème} siècle, de par son succès face au défi croissant que représentait le besoin de nourrir des populations affamées en pleine expansion, notamment en Asie et en Amérique Latine (Tribe, 1994; FAO, 1996; Evenson et Gollin, 2003; Pingali, 2012). On peut considérer que le succès exemplaire de la Révolution Verte a éclipsé d'autres exemples de réussite à l'échelon local, desquels il est possible de tirer des leçons fondamentales sur la façon dont des populations locales ont maintenu leur résilience face à des défis socio-écologiques aux multiples facettes, dont l'expansion démographique et l'érosion des ressources naturelles. Des millions d'habitants de la planète restent dépendants de systèmes alimentaires enracinés dans des schémas de production agricole étrangers au domaine des approches classiques de la Révolution Verte. Cela soulève la question, *qu'y a-t-il de si unique dans les craintes globales d'aujourd'hui face aux besoins alimentaires d'une population mondiale en expansion? Ou encore, pourquoi l'insécurité alimentaire et nutritionnelle est-elle restée un grave problème à l'échelle mondiale, dans le contexte de tous les impacts positifs et des enseignements de la Révolution Verte et/ou de l'agriculture industrielle?* Si ces questions peuvent mener à d'autres questions, tout aussi cruciales et encore plus préoccupantes, elles mettent en lumière les grands problèmes de l'échec des systèmes alimentaires d'aujourd'hui, ainsi que les lacunes des modèles actuels de production agricole quand il s'agit d'étayer des systèmes de moyens d'existence résilients et durables. Le présent chapitre prend acte du fait que les inquiétudes globales actuelles sont pleinement justifiées par l'énormité des défis face à l'insécurité alimentaire et nutritionnelle et à la nécessité d'accroître la production agricole, notamment dans les pays en voie de développement. Ces défis prennent place dans un contexte d'explosion de la demande mondiale en nourriture, aliments du bétail et fibres, de déclin des ressources naturelles et d'une production agricole impactée par le changement climatique. Nous avançons ici que le problème sous-jacent prend sa source dans les lacunes et l'étroitesse des approches conventionnelles de production agricole qui procèdent des technologies, institutions et politiques de la Révolution Verte. Les approches conventionnelles de production agricole ont mis à mal les opportunités d'exploiter les processus écologiques. Alors même que la sécurité alimentaire est menacée à l'échelle mondiale, ces processus écologiques permettent la survie de certaines des populations les plus pauvres du globe, notamment en Afrique sub-saharienne.

L'Afrique nous présente le paradoxe de familles qui cultivent la terre mais souffrent de faim et de malnutrition. Ce continent continue d'être un point noir d'insécurité alimentaire et nutritionnelle, et abrite certaines des populations les plus pauvres du globe. L'aide alimentaire fait pratiquement partie du paysage, tout particulièrement en Afrique sub-saharienne. Plus crucialement, et contrairement aux autres continents, la productivité agricole en Afrique continue de décliner (van Ittersum *et al.*, 2013). L'explication communément admise est une fertilité du sol faible et déclinante, et le manque d'accès des agriculteurs aux engrais minéraux, aux semences sélectionnées et aux marchés, le tout dans le contexte de la variabilité et du changement climatiques. On trouve en Afrique certains des sols les plus anciens de la planète, caractérisés



par leur faible fertilité et leur vulnérabilité à l'érosion par l'eau et le vent (Base de référence mondiale des sols, 1998; Lal, 2007). La plupart des petits paysans qui forment la majorité des agriculteurs de l'Afrique sub-saharienne n'ont pu appliquer des pratiques agronomiques basées sur la Révolution Verte (p. ex. recours aux intrants exogènes) ou des mesures de conservation des sols, avec pour conséquence l'ubiquité de l'exploitation minière des nutriments et de la détérioration qualitative des sols et des terres. La réaction classique de la recherche et de la vulgarisation est de 'pousser' des solutions techniques agronomiques par des recommandations à caractère général, en laissant fréquemment de côté les savoirs et l'expérience indigènes ou locaux. Cependant, des études récentes ont démontré que les systèmes de production et les conditions en Afrique sont trop divers et hétérogènes pour se prêter à une quelconque solution du type prêt-à-porter appliquée à l'aide d'une baguette magique (Tifton *et al.*, 2010; Giller *et al.*, 2011). Dès lors, il est nécessaire de se tourner vers des solutions propres à chaque contexte (p. ex. cultures mixtes indigènes, systèmes agroforestiers) pour étayer des systèmes de production agricole durables à même de satisfaire les besoins locaux en nourriture, en nutrition et en moyens d'existence de communautés aux multiples vulnérabilités.

Suite à l'extension de la pauvreté et des menaces sur la sécurité alimentaire et nutritionnelle, les rapports faisant état d'une mauvaise adoption de technologies agricoles conventionnelles innovantes ou améliorées sont devenus la règle en Afrique, notamment dans les zones agroécologiques subhumides à semi-arides (Knowler et Bradshaw, 2007). On a invoqué différentes causes à cette situation, dont une approche défectueuse de la vulgarisation, le manque de capacités / ressources, et les risques économiques et sociaux (voir p. ex. Mekuria et Siziba, 2003; Marenja et Barrett, 2007; Ajayi *et al.*, 2007). En revanche, on en sait aujourd'hui très peu sur les conséquences négatives ou les coûts des interventions et/ou technologies qui ont échoué, comme par exemple la possibilité de perturbations au détriment de systèmes agricoles *et* alimentaires préexistants. Le changement et la variabilité climatiques, en raison des impacts négatifs qu'ils font craindre sur les familles et communautés de petits paysans africains, constituent aujourd'hui un nouveau prisme pour l'évaluation de l'agriculture sur le continent (voir p. ex. CIPV, 2014). Il y a d'ores et déjà de plus en plus d'appels à une transformation des systèmes agricoles de petites exploitations en Afrique pour les rendre plus intégratifs, résilients et durablement productifs. Cependant, ce qui reste dans le flou est la partie 'comment y arriver' et sa base empirique. Sur la base de l'expérience du Soil Fertility Consortium for Southern Africa (SOFECSA), dont le siège est à l'Université du Zimbabwe, le présent chapitre va s'attacher à montrer comment, en se concentrant initialement sur l'application des principes de l'agroécologie au problème de la mauvaise productivité des sols, de nouvelles opportunités se présentent pour convertir des cycles vicieux sur plusieurs niveaux en cycles vertueux à l'échelle des petites exploitations.

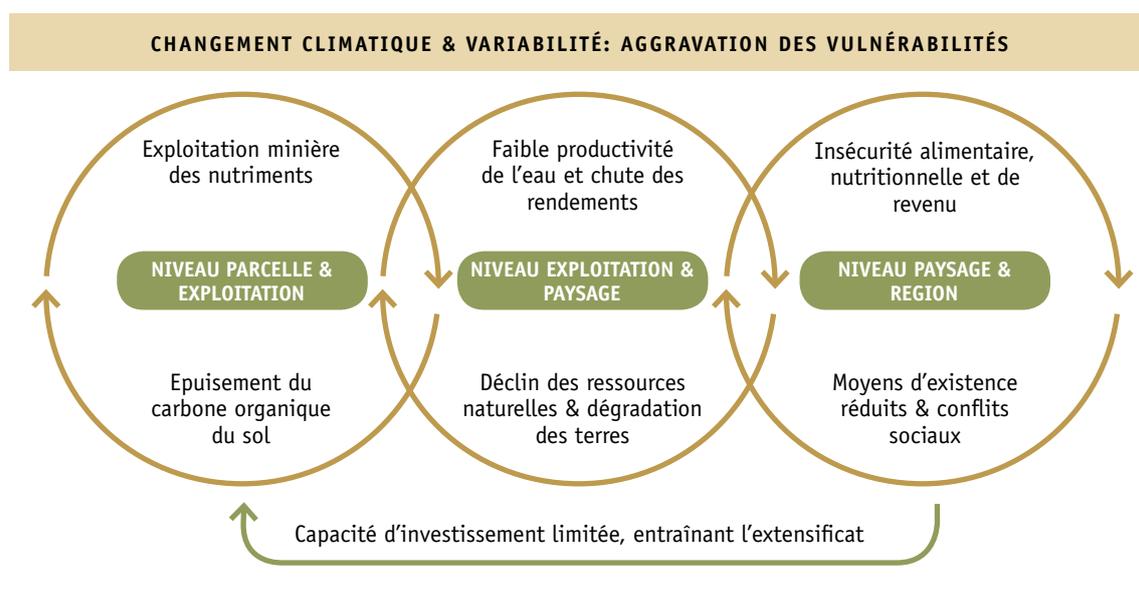
ÉCHEC DE L'AGRICULTURE CONVENTIONNELLE, CYCLES VICIEUX ET MULTIPLES PIÈGES DE PAUVRETÉ

La recherche et les efforts de développement impulsés par des approches de vulgarisation de descendants ont poussé à la monoculture d'un petit nombre de cultures vivrières et de rente par les systèmes agricoles africains de petites exploitations. En Afrique australe, ces cultures



sont le maïs, le tabac, le coton, le soja et l'arachide, ainsi que des cultures en plantations arborées comme le thé. La monoculture a été privilégiée en raison de sa compatibilité avec diverses formes de labour, le recours aux produits agrochimiques contre les ravageurs et les maladies, et la mécanisation de la récolte, entre autres pratiques agronomiques. Les principales conséquences de ces approches agronomiques conventionnelles ont été l'élimination des arbres des terres agricoles, et l'abandon des systèmes de polyculture qui contribuaient auparavant à l'agrobiodiversité et à la nutrition des ménages. Ce processus a bouleversé les cycles de nutriments étroitement interdépendants qui sont à la base de la productivité des écosystèmes miombo dont dérivent la plupart des systèmes de production en Afrique australe ainsi que dans une partie de l'Afrique de l'Est. Un facteur aggravant est que les systèmes de production conventionnels actuels se basent sur l'hypothèse d'une utilisation en continu d'intrants exogènes, une exigence qui n'est pas satisfaite dans la pratique, essentiellement en raison de la carence des marchés et de l'incapacité des producteurs à se procurer ces ressources productives. Une conséquence majeure de ces processus a été une spirale de déclin de la fertilité des sols, due à l'exploitation minière des nutriments (voir p. ex. Smaling *et al.*, 1993; 1997), avec une chute de la productivité des cultures, une insécurité alimentaire chronique et une malnutrition quasi généralisée (van Ittersum *et al.*, 2013). Il s'en est suivi des mécanismes auto-entretenus de dégradation des terres et de basse productivité, les paysans se concentrant fréquemment sur un objectif d'autosuffisance alimentaire pour leur ménage (Mapfumo, 2009; Nyikahadzo *et al.*, 2012) et, de ce fait, n'investissant pas dans des technologies innovantes. Dans ces circonstances, les petits producteurs vont souvent s'attacher en premier lieu à des gains à court terme, tels que la production de maïs vivrier, par des approches d'extensification qui empiètent sur des zones fragiles et marginales, piégeant les ménages paysans dans des cercles vicieux en série tandis que les rendements continuent leur glissade (voir Figure 1).

Figure 1. **Présentation schématique des cycles vicieux interconnectés provoqués par la chute de la productivité du sol et de la façon dont ils affectent la productivité agricole et les moyens d'existence face au changement et à la viabilité climatiques**





En Afrique australe, quelle que soit la saison culturale, le maïs occupe environ 60 à 80 pour cent des surfaces cultivées (Aquino *et al.*, 2001; Smale et Jayne, 2003) et il n'existe pas de mécanisme en place pour aider ces communautés de petits paysans à s'échapper du *piège de la pauvreté du maïs*. Pour toutes sortes de raisons socioéconomiques, les paysans continuent de planter du maïs même quand il est parfaitement clair que cette culture est un échec, notamment dans un contexte de variabilité climatique accrue et d'accès limité aux intrants nutritifs (voir p. ex. , 2011; Rurinda *et al.*, 2014). Cette concentration sur le maïs a aussi monopolisé l'attention de la recherche et du développement au détriment d'autres cultures diversifiées et de systèmes de production alternatifs qui pourraient contribuer mieux que le maïs aux objectifs des paysans en matière de sécurité alimentaire et de moyens d'existence. Il n'est pas douteux que ces difficultés ont bel et bien fait du maïs 'le problème'. Ces facteurs sous-jacents démontrent que le déclin de la fertilité des sols est au cœur des vulnérabilités actuelles et émergentes des communautés rurales à l'insécurité alimentaire et nutritionnelle (Figure 1) et signalent la nécessité d'un changement de paradigme permettant d'élaborer des systèmes de production agricole durables.

LIENS MOINS ÉVIDENTS ENTRE PROCESSUS BIOGÉOCHIMIQUES DANS LE SOL ET PIÈGES DE PAUVRETÉ

Pendant longtemps, la cause fondamentale du déclin de la productivité agricole en Afrique subsaharienne a été recherchée dans une fertilité des sols basse et en diminution (Sanchez *et al.*, 1997). Même si cela a contribué à une prise de conscience, parmi les diverses parties prenantes, dont les décideurs et les partenaires du développement aux niveaux national et global, de l'importance de la gestion des sols pour le développement durable (voir p. ex. la création du SOFECSA, du Programme sur la fertilité et la biologie des sols tropicaux; et de l'Initiative de la Banque mondiale pour la fertilité des sols), il subsiste des lacunes critiques au niveau du savoir des paysans. Il n'y a eu que des tentatives limitées de traduction de l'expérience et des conclusions de la recherche sur la fertilité des sols vers le domaine des connaissances 'communes'. Les relations entre la mauvaise productivité des sols et les problèmes socioéconomiques ou de diminution des services écosystémiques sont donc fréquemment méconnues des agriculteurs, des praticiens du développement et des décideurs locaux (Mapfumo *et al.*, 2013). Par exemple, peu d'attention est accordée aux transferts de nutriments entre sous-systèmes de production végétale et animale (Giller *et al.*, 2011), à l'apport gratuit de ressources en nutriments à partir des zones boisées et herbagères naturelles en soutien à la production agricole, ou à l'épuisement des réserves de carbone et des ressources en eau du sol dans les zones humides sous culture (Mtambanengwe et Mapfumo, 2008; Chagumaira *et al.*, 2015). La recherche sur l'adaptation au changement climatique en Afrique révèle de plus en plus nettement une dépendance accrue aux produits forestiers non ligneux (PFNL) et à ceux issus des parcours herbagers pour satisfaire les besoins en nourriture (énergie et protéines), malgré leur déclin suite au stress climatique et à une pression de prélèvement excessive (Woittiez *et al.*, 2013; Chagumaira *et al.*, 2015). Cependant, aucun investissement majeur n'a été consenti en vue de promouvoir les interactions

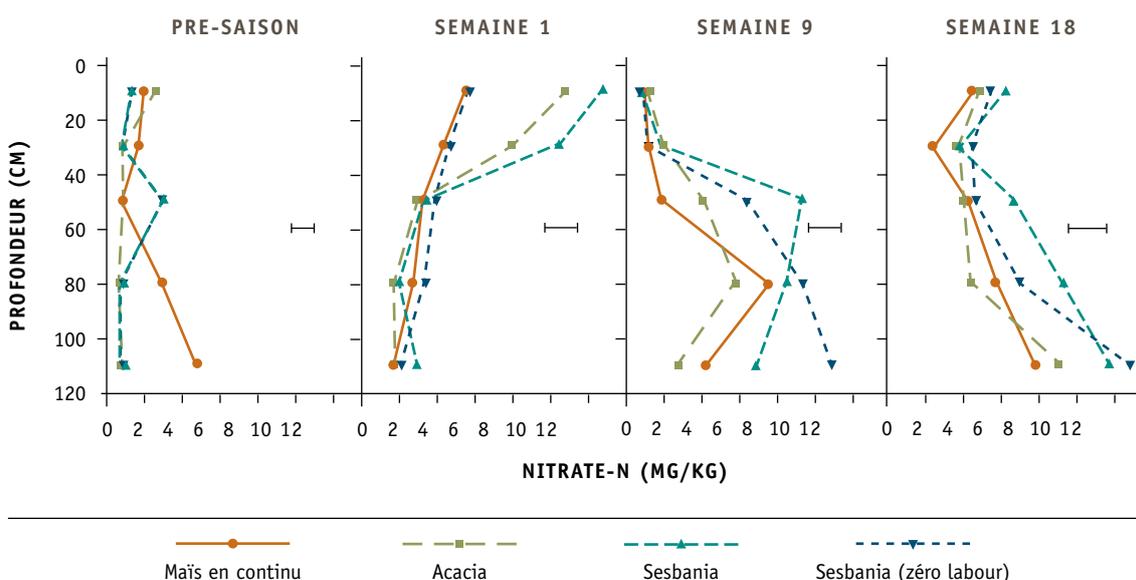


entre ces composants qui améliorent la productivité de ces systèmes, et en particulier pour renforcer les cycles des nutriments et autonomiser les communautés en vue de préserver ces ressources. L'unique exception est l'action du Centre mondial de l'agroforesterie (Akinnifesi *et al.*, 2008).

COMPRENDRE LES CYCLES VICIEUX DES NUTRIMENTS ET LEURS CONSÉQUENCES EN AGRICULTURE CONVENTIONNELLE

En s'appuyant sur l'exemple des sols sableux grossiers sur arène granitique de l'Afrique australe, qui constituent certains des sols les plus pauvres en nutriments et les plus difficiles à cultiver du continent, on voit clairement que la préservation ou l'amélioration de la productivité nécessite des innovations extraordinaires en matière de gestion des sols. Sur ces sols sableux, la perte de nutriments se fait essentiellement par lessivage, notamment pour l'azote (N), qui disparaît très tôt dans le cycle cultural, avant que des cultures comme le maïs aient eu le temps de développer un système racinaire suffisamment étendu (Figure 2; Chikowo *et al.*, 2003). On voit sur la Figure 2 que des cultures profondément enracinées, telles que les cultures arborées, intensifient le captage de nutriments qui, sans elles, seraient lessivés. En revanche, les systèmes de monoculture céréalière et les systèmes de rotations non systématiques ont peu de chances de produire des cycles des nutriments assez efficaces pour améliorer la productivité et le retour sur investissement des dépenses d'engrais des agriculteurs.

Figure 2. Nitrate-N mesuré à différentes profondeurs du sol dans différents systèmes de production de maïs sur sol sableux argileux au Zimbabwe

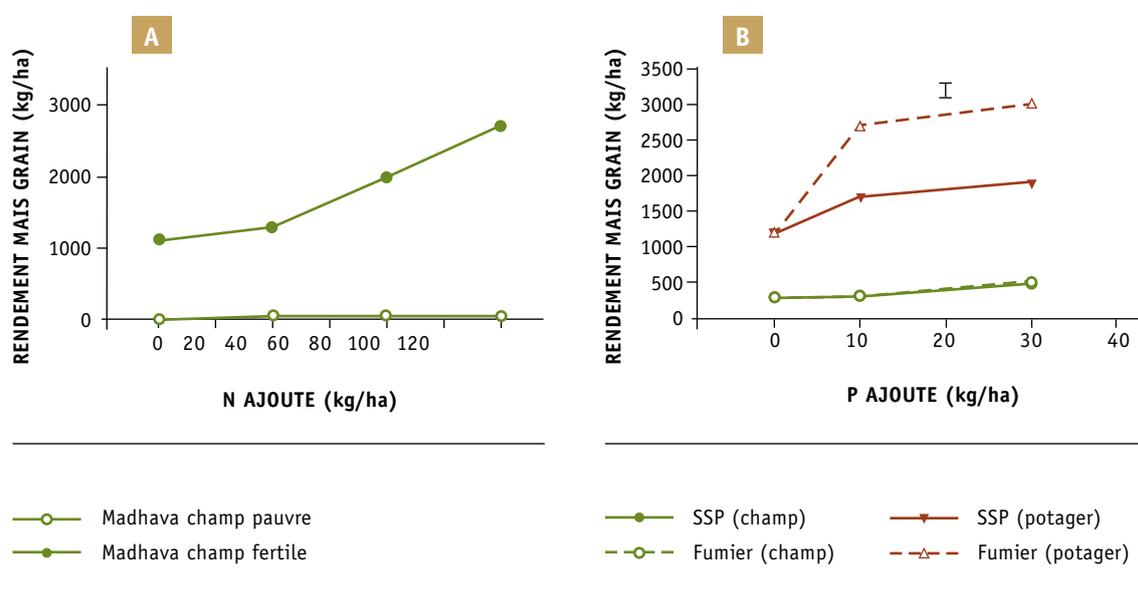


Source: Chikowo *et al.*, 2003



Sur la base des recherches menées par le SOFECSA, la matière organique du sol (MOS) reste le principal élément déterminant l'efficacité de l'utilisation des nutriments sur sols sableux. Sur un sol avec moins de 0,46 pour cent de carbone organique, l'application d'engrais azoté ne produit aucune réponse significative du rendement céréalier (Figure 3A) et les gains de productivité après application de phosphore sont limités également (Figure 3B). De tels sols sont fréquemment abandonnés par les agriculteurs (Mapfumo *et al.*, 2005; Nezomba *et al.*, 2010) et peuvent être comptés au nombre des groupes de sols que l'on classe de plus en plus dans la catégorie 'ne répond pas' à la fertilisation en petite exploitation (Rowe *et al.*, 2006; Kamanga *et al.*, 2014; Chikowo *et al.*, 2014). Sur un sol avec plus de 0,46 pour cent de carbone organique, il est fréquent que l'application de sources traditionnelles de matière organique telles que fumier de ruminants et résidus de récolte produise une réponse de rendement significative, alors qu'il faut une teneur en C organique de plus de 0,65 pour cent pour une réponse significative à l'application de fumures exclusivement minérales (Figure 3; Mapfumo *et al.*, 2006; Kurwakumire *et al.*, 2014). Ces résultats mettent en évidence l'importance de la gestion de la matière organique pour agir sur l'efficacité de l'utilisation des engrais, ce qui a des implications cruciales pour les programmes d'assistance à l'utilisation d'engrais que mènent un grand nombre de gouvernements, d'ONG et de partenaires du développement dans la région. Cependant, le grand problème est de savoir comment générer suffisamment de biomasse dans ces sols épuisés et grossiers pour arriver à une meilleure teneur en carbone organique.

Figure 3. Réponse du rendement maïs grain à l'application de N et de P sur sols sableux

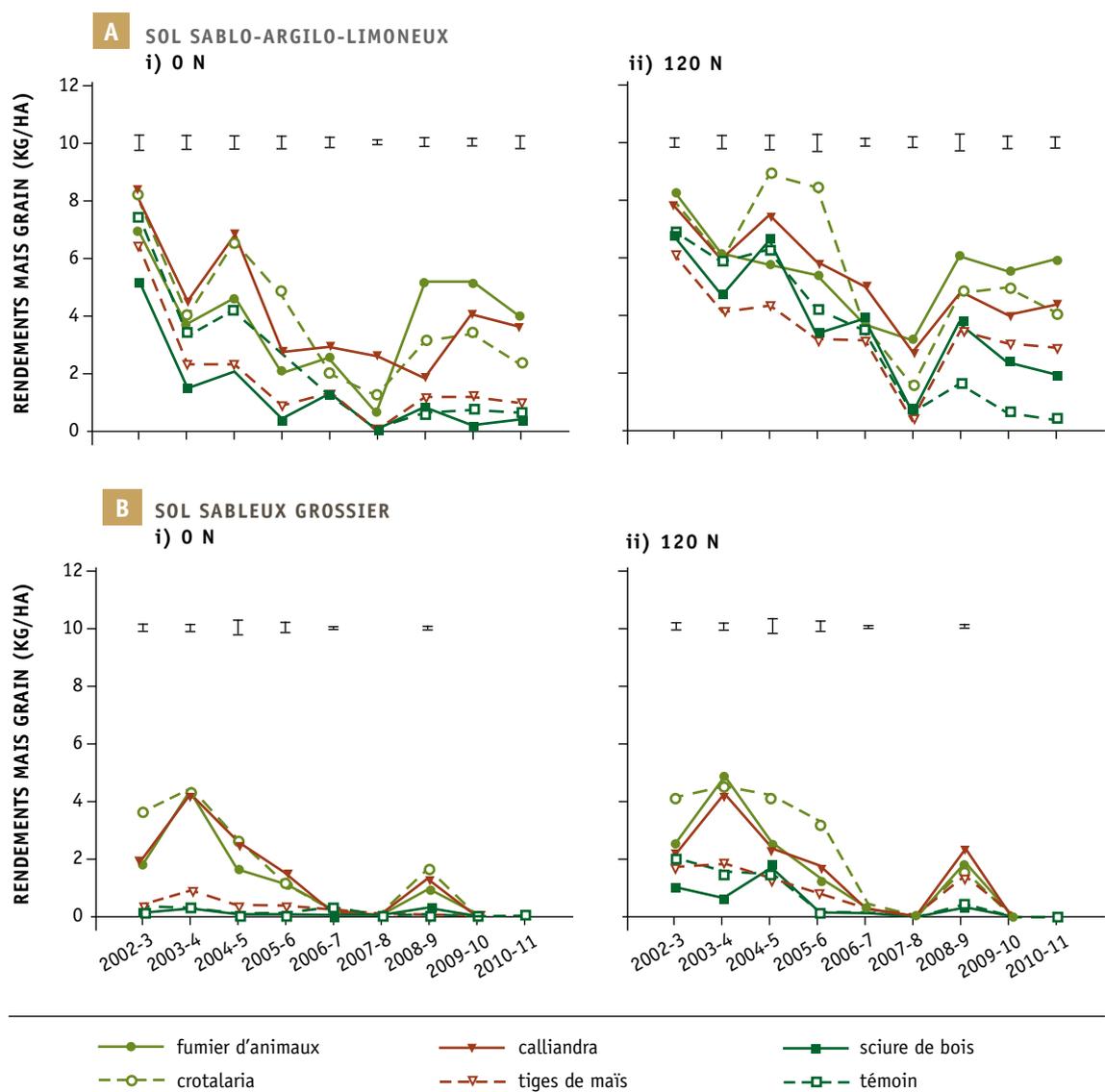


(A) Réponse du maïs grain à une faible teneur en carbone organique du sol (champ appelé «pauvre» par le paysan Madhava = 0,46% C) et à une teneur en C modérée (champ appelé «fertile» = 0,65% C) sur sol sableux au Zimbabwe; (B) Réponse du maïs grain à l'application de 100 kg/ha N, fumier et superphosphate simple (SSP) sur sol sableux.

Sources: Mapfumo et Mtambanengwe, 2006; Zingore *et al.*, 2007



Figure 4. Schémas de rendement du maïs après neuf saisons de monoculture avec et sans fertilisation au N, sous différentes applications de matière organique et sur différentes textures de sol



Source: données tirées de l'expérience longue durée UZ-SOFECSA

La recherche a montré qu'il est nécessaire d'appliquer de la matière organique en quantités relativement importantes pour arriver à des incréments significatifs de la teneur en carbone organique, mais qu'au-delà d'un taux d'application de 10 t/ha (base matière sèche) il ne semble pas y avoir d'effet bénéfique additionnel (Mapfumo *et al.*, 2007). C'est essentiellement la conséquence de la mauvaise protection physique fournie par un sol sableux contre les attaques microbiennes du carbone ainsi ajouté. Par ailleurs, la plupart des champs que les paysans délaissent en raison de la mauvaise productivité du sol n'arrivent pas à générer plus de 3 tonnes/hectare de MOS (sèche), même au bout de plus de deux saisons de jachère naturelle (Mapfumo *et al.*, 2005). Ces chiffres sont cohérents avec les mesures de la matière sèche de résidus de récolte effectuées sur les champs des paysans, donnant généralement moins de 1,5 t/ha (Mapfumo *et al.*, 2005),



ce qui conduit à penser que les systèmes de production conventionnels actuels sont impuissants face à la glissade de la teneur en carbone organique des sols et donc de leur productivité. Des résultats récents, tirés d'une expérimentation à long terme dans laquelle des applications répétées de matières organiques de diverses qualités, en quantités faibles (1,2 t/ha) et élevées (4 t/ha) d'équivalent carbone, ont été effectuées sur des sols grossiers sableux et sur des sols sablo-argilo-limoneux, constatent un déclin continu du rendement malgré l'application annuelle d'engrais NPK (Figure 4). Le déclin à long terme du rendement sous monoculture de maïs a été attribué en partie à la perte de plusieurs autres nutriments tels que le magnésium (Mg) et le calcium (Ca), ainsi que de micronutriments comme le zinc (Zn), qui ne sont pas présents dans les engrais minéraux habituels accessibles aux paysans (voir p. ex. Manzeke *et al.*, 2014). Cela contribue encore à faire de l'accès limité à la biomasse un risque majeur pour la durabilité des cultures, particulièrement en cas de précipitations faibles et aléatoires.

En Afrique australe, comme dans d'autres zones semi-arides à sub-humides de l'Afrique de l'Est et de l'Ouest, les systèmes de production se caractérisent par de fortes interactions entre productions végétales et animales. Le bétail et la gestion de l'eau et des sols sont en concurrence pour les résidus de récolte et d'autres formes de biomasse végétale, exerçant une pression substantielle sur le développement de techniques agricoles durables. Si l'accroissement de la demande pour les cultures vivrières constitue une menace grandissante pour la production animale, des études récentes sur l'adaptation au changement climatique ont également révélé que les systèmes intégrés agriculture-élevage sont à même de renforcer la capacité des petites exploitations africaines à s'adapter au changement et à la variabilité climatiques (Chilonda *et al.*, 2007; Thornton *et al.*, 2007; Mapfumo *et al.*, 2014).

PERTE DE RÉSILIENCE SUITE À LA DIMINUTION DE LA BASE DE RESSOURCES

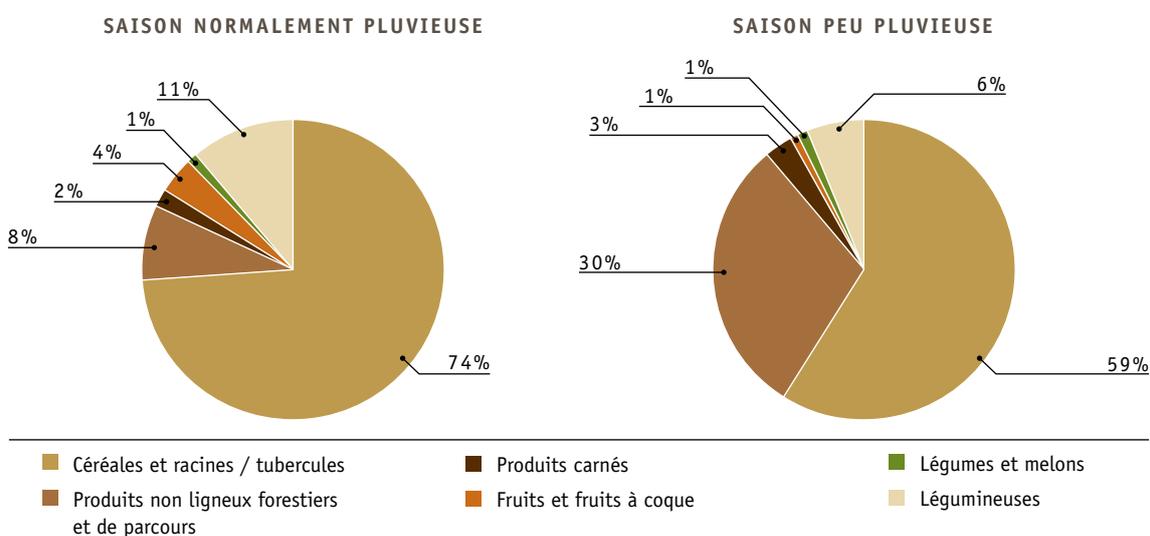
Il est courant, dans les pays africains, de voir la tutelle sur l'agriculture et celle sur la gestion des ressources naturelles dévolues à des ministères distincts, reflétant la conception dominante de l'agriculture. Or il est de plus en plus clairement apparent que les systèmes agricoles (productions végétales et animales), halieutiques et forestiers sont reliés entre eux par des interdépendances complexes, en particulier pour les communautés de petits paysans confrontées aux pressions croissantes liées au changement et à la variabilité climatiques (CIPV, 2014; Mapfumo *et al.*, 2014). Les communautés de petits paysans restent dépendantes de leur écosystème naturel immédiat pour en tirer: des services gratuits pour leurs systèmes de production agricole; des réseaux de protection contre les échecs de saisons culturales induits par le climat et/ou les carences des institutions d'assistance; et des suppléments alimentaires et nutritionnels pour les ménages les plus pauvres (faible accès aux ressources) qui sont fréquemment en déficit structurel. Nombreuses sont les études qui, dans le passé, ont identifié et quantifié certaines des contributions des écosystèmes naturels aux moyens d'existence des communautés locales (voir p. ex. Nyathi et Campbell, 1993; Campbell, 1996; Shackleton et Shackleton, 2004). Ces études ne sont pas les seules à pointer le rôle crucial d'écosystèmes et bases de ressources naturelles spécifiques venant en renfort de la résilience des systèmes de moyens d'existence et



de l'allègement de la pauvreté dans certaines communautés (Cavendish, 2000; Shackleton et Gumbo, 2010). Cependant, ce qui saute aux yeux dans ces recherches est l'absence d'attention à des approches de développement qui intégreraient la gestion de ces précieuses ressources naturelles aux systèmes de production agricole dans le cadre de diverses agroécologies.

Qui plus est, il ressort d'études récentes qu'en dépit d'efforts concertés en faveur de la croissance agricole en Afrique, de nombreuses communautés de petits paysans, paradoxalement, dépendent de plus en plus des écosystèmes naturels pour s'adapter aux menaces, tant actuelles qu'émergentes, induites par le changement et la variabilité climatiques (Woittiez *et al.*, 2013; Chagumaira *et al.*, 2015). Woittiez *et al.*, (2013) ont identifié 27 types différents de PFNL dont dépendent couramment les communautés de petits paysans. Ils ont démontré que les ménages les plus pauvres tirent 40 pour cent de leur consommation énergétique de ces ressources au cours des saisons à déficit de précipitations. La contribution totale des PFNL à la consommation énergétique des ménages triple en année de sécheresse (Figure 5). Chagumaira *et al.*, (2015) confirment l'idée qu'en réponse à la variabilité croissante du climat, le régime alimentaire et les sources de revenu des ménages de petits paysans, indépendamment de leur degré d'accès aux ressources, sont de plus en plus dictés par la disponibilité et l'accessibilité de réserves de ressources naturelles communes d'où ils tirent différents PFNL. Là où la collecte de PFNL par les ménages les plus aisés vient essentiellement en complément de leur consommation alimentaire, celle des ménages aux ressources réduites, quantitativement substantielle, alimente et leur consommation alimentaire, et leur revenu par vente sur les marchés (Chagumaira *et al.*, 2015). Il est clair qu'au niveau local, les systèmes de production délaissent inexorablement les principes de base qui définissent l'agriculture conventionnelle en raison du risque climatique et de nombreux autres facteurs de stress, mais cela n'empêche pas les politiques de développement de continuer à procéder du paradigme de l'agriculture conventionnelle. Ces résultats pointent la nécessité d'intégrer les approches de l'agroécologie à l'effort actuel pour transformer l'agriculture africaine en direction de systèmes de production et de moyens d'existence plus résilients.

Figure 5. Sources de consommation énergétique en pourcentage de la consommation annuelle individuelle dans des communautés de petits paysans, sous l'influence de la variabilité des précipitations dans le cadre du changement climatique, District de Hwedza, Zimbabwe



Source: adapté d'après Woittiez *et al.*, 2013



VERS LA CRÉATION DE CYCLES VERTUEUX: DU CYCLE DES NUTRIMENTS AU PROCESSUS SOCIO-ÉCOLOGIQUE

Il apparaît clairement que toute transformation de l'agriculture africaine en direction de systèmes alimentaires plus productifs, plus résilients et plus durables va nécessiter non seulement de l'innovation à haute dose, mais encore des approches systématiques et intégrées reliant les processus écologiques aux processus socio-économiques. Pour contribuer à l'élaboration de telles approches, le SOFECSA s'est d'abord attaché à rompre les cycles de nutriments vicieux existants en se concentrant sur des mécanismes de redressement et de préservation de la productivité du sol. Arriver à une meilleure réponse des sols à la fertilisation et à l'eau est considéré comme la clé permettant la création de cycles socio-écologiques vertueux, au fur et à mesure que les opportunités de configurer de nouveaux processus productifs en vue de systèmes alimentaires durables se présentent aux communautés.

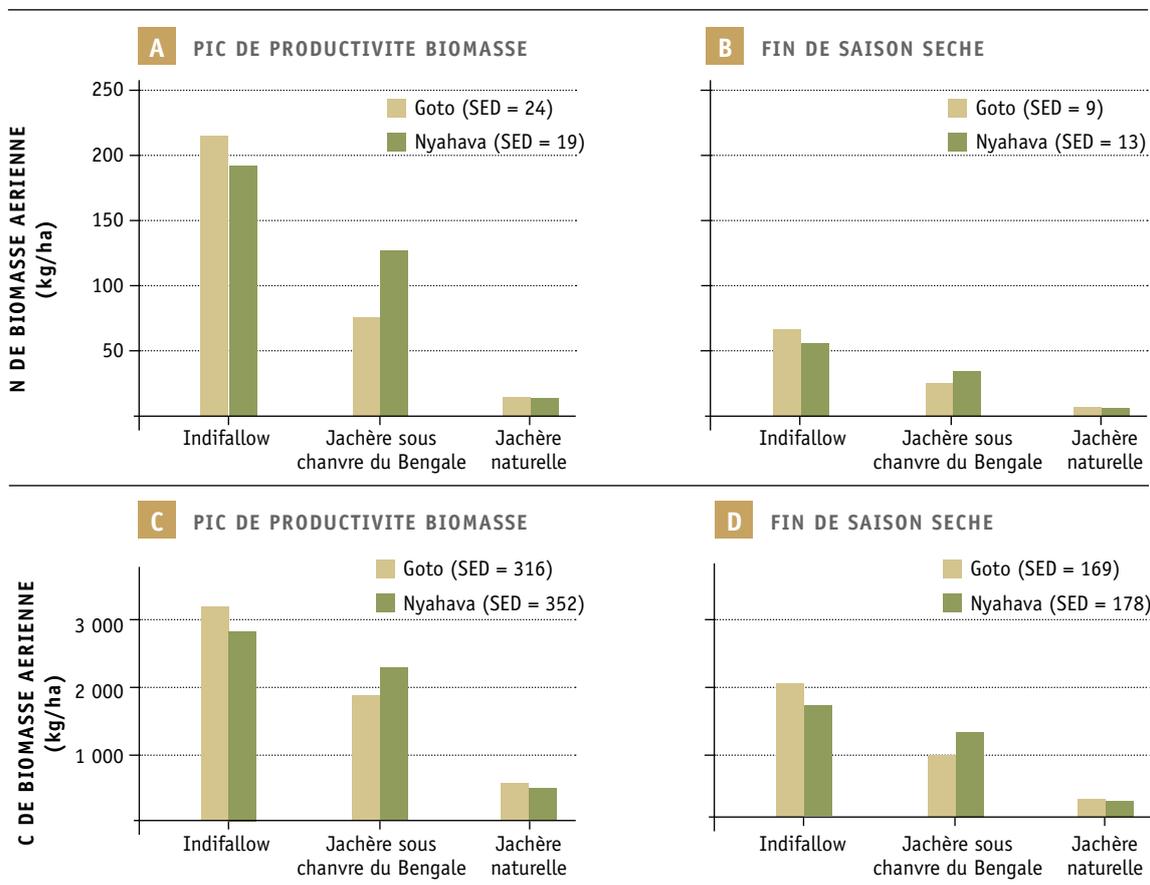
Tirer parti des processus écologiques en vue de redresser la productivité des sols

La jachère naturelle est traditionnellement utilisée comme méthode clé de régénération de la fertilité des sols, en Afrique et dans de nombreuses autres parties du monde. Cependant, la montée de la pression démographique et la diminution des ressources en terres agricoles ont enlevé son intérêt à cette méthode, les exploitants se trouvant contraints de cultiver en continu les mêmes parcelles pour arriver à satisfaire la demande en nourriture, aliments du bétail et fibres (voir p. ex. Garrity *et al.*, 2013). Au cours des dernières décennies, une inquiétude majeure s'est fait jour du fait qu'on voit de plus en plus de petits paysans africains abandonner des terres agricoles en raison de leur mauvaise productivité et de leur dégradation, dans un contexte d'accès restreint aux engrais et de rareté d'intrants organiques exogènes (Mapfumo *et al.*, 2005; Tittonell *et al.*, 2005; Nezomba *et al.*, 2010; Manzungu et Mtali, 2012). Alors même que la superficie des exploitations se rétrécit, il apparaît clairement que, de plus en plus, les paysans mettent une terre en jachère non pas dans le cadre d'une stratégie de redressement de sa productivité, mais comme une mesure de dernier ressort pour réduire le risque de gaspiller des engrais et du travail. Dès lors, il est crucial de trouver des mécanismes de réhabilitation de ces terres agricoles, la diminution incessante des terres, de plus en plus limitées, disponibles pour l'agriculture constituant une menace de premier plan pour la sécurité alimentaire.

Des observations effectuées sur des champs abandonnés à la jachère dans trois zones agroécologiques différentes du Zimbabwe ont montré des touffes isolées, à la distribution irrégulière, mais en bonne santé, de légumineuses herbacées (Mapfumo *et al.*, 2005). Une première expertise écologique de ces légumineuses par Mapfumo *et al.* (2005) a mis au jour leur exceptionnelle capacité de noduler avec des espèces rhizobiennes indigènes (*Rhizobium* spp.) et de pousser sur des sols sableux (avec 5-20 pour cent d'argile) caractérisés par de faibles teneurs en azote (N) et phosphore (P). Des méthodes de recherche paysanne participative ont permis leur détermination, la collecte de leurs graines et leur récolte en commun avec les communautés locales des zones d'étude respectives. Jusqu'à 37 espèces différentes ont été



Figure 6. Productivité en biomasse et volume de N généré sous jachère indigène à légumineuses (indifallows) par comparaison avec jachère naturelle et avec engrais vert de chanvre du Bengale chez les petits paysans de Goto et Nyahava à l'est du Zimbabwe



Source: Nezomba et al., 2010

répertoriées sur les trois zones agroécologiques, et des études détaillées ont été entreprises sur la dynamique des populations de ces espèces (Tauro et al., 2009; 2010) ainsi que sur les caractéristiques de cette biomasse végétale en termes de qualité chimique et de mode de libération des nutriments. Ces études ont permis de concevoir des interventions basées sur l'ensemencement dans les champs de touffes mêlées des espèces dominantes de légumineuses collectées sur les agroécologies respectives, arrivant en fin de compte à un concept nouveau, l'indifallow (jachère indigène à légumineuses) (Mapfumo et al., 2005; Nezomba et al., 2010). Les espèces à indifallow dominantes sont *Crotalaria*, *Tephrosia*, *Indigofera*, *Rothia*, *Zornia* et *Chamaecrista*. De plus, ces espèces ne sont pas appréciées par le bétail. Un succès notable au crédit des indifallows est leur capacité à générer de la biomasse riche en azote, en quantités au moins cinq fois plus importantes que celles générées en jachère naturelle. Les indifallows ont dépassé les performances du chanvre du Bengale (*Crotalaria juncea*) utilisé en engrais vert, qui est le second meilleur choix disponible pour les paysans (Figure 6). Les paysans sont capables de déterminer ces espèces de légumineuses sur la base de leurs savoirs locaux, ce qui leur a permis d'en collecter les semences et de prendre part au débat sur le mode de mise en place des indifallows (Mapfumo et al., 2005). Les avantages pour les plantes suivantes en rotation



séquentielles sont modestes mais très significatifs (Nezomba *et al.*, 2010). L'indifallow a donc été considéré comme un point d'entrée potentiel pour le redémarrage de la productivité des sols sur les champs paysans dont les nutriments sont épuisés, et utilisé dans les initiatives du SOFECSA. Les résultats positifs des indifallows ont des implications pour l'élaboration d'options techniques de génération de biomasse et pour arriver à une meilleure gestion de la matière organique en agriculture.

Redémarrage des sols: Séquençage d'options de gestion intégrée de la fertilité des sols

Le résultat de la monoculture en continu sur la plupart des sols africains est une spirale de diminution de la fertilité des sols et de la productivité des cultures, suite à la chronicité de l'exploitation minière des nutriments. C'est une des causes principales de la dégradation des terres et une source sous-jacente de l'insécurité alimentaire et nutritionnelle. La réponse du SOFECSA est de proposer un concept de mise en œuvre séquentielle d'options de GIFS pour redresser et préserver la productivité des sols dont les nutriments sont épuisés. Le concept est dérivé des observations qui suivent:

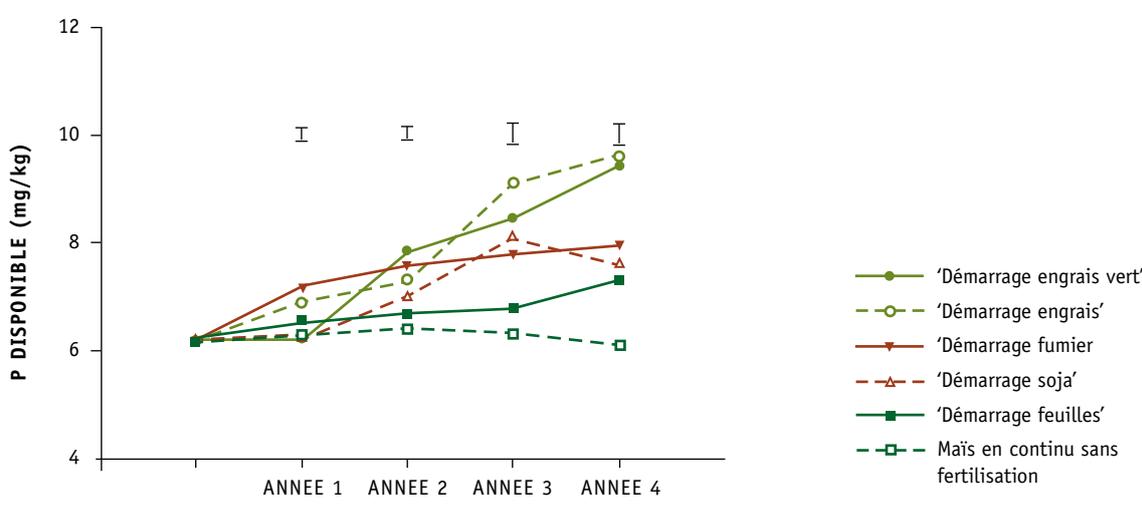
- » dans les champs abandonnés par les paysans en raison de leur manque de productivité et de leur mauvaise réponse à une fertilisation classique, la principale contrainte des sols est la détérioration de leurs caractéristiques chimiques et biologiques, elle-même due à la diminution de leurs réserves de nutriments et à l'épuisement de leur MOS;
- » l'activité biologique de ces sols est stimulée par une combinaison de légumineuses adaptées aux conditions locales et de fertilisation au P, stimulation qui, à condition d'être suivie par une séquence de régimes appropriés de fertilisation organique-inorganique, peut conduire à une productivité durable;
- » l'accès des paysans aux diverses ressources en nutriments est fonction de leur niveau propre de ressources, et ils vont de ce fait dépendre de séquences de GIFS différentes (points d'entrée) pour ramener la fertilité de leurs sols à un niveau où l'utilisation des engrais devient durable;
- » Une séquence appropriée d'options technologiques de GIFS mettant en œuvre différentes sources de nutriments va produire des gains incrémentiels des réserves de nutriments et de la MO du sol, améliorant ainsi sa capacité à retrouver sa productivité.

Des études de séquences de GIFS ont été menées sur 4 ans avec utilisation de ressources organiques, de légumineuses fixatrices d'azote et d'engrais minéraux (Nezomba *et al.*, 2015a). Les ressources organiques utilisées ont été celles auxquelles les paysans ont généralement accès, essentiellement le fumier de ruminants, les débris végétaux de zones boisées et les résidus de récoltes, tandis que les légumineuses comprenaient les graines, l'engrais vert et les espèces indigènes. Différents traitements ont été utilisés pour démarrer les séquences de GIFS lors de la première année de l'intervention: légumineuses en engrais vert (Démarrage vert), graines de soja (Démarrage soja), indifallow (Démarrage indifallow), engrais au taux recommandé (Démarrage engrais), fumier de ruminants (Démarrage fumier) et feuilles mortes de zones boisées (Démarrage feuilles mortes). Au cours des saisons suivantes, ces premiers traitements ont été suivis par des



combinaisons variées d'intrants organiques et d'engrais appliqués selon des taux différents, notamment du P (Nezomba *et al.*, 2015a; 2015b). Ces séquences ont donné des améliorations incrémentielles de la production en calories et en protéines, et au bout de quatre ans la quantité de P accumulée se différencie nettement en fonction des différents traitements séquentiels (Figure 7). Les meilleurs résultats d'accumulation de P après quatre ans de culture sous les séquences GIFS sont observés sur les parcelles démarrées à l'engrais vert et celles démarrées avec des applications d'engrais au taux recommandé. Les séquences ont également amélioré le rendement maïs, trois à dix fois supérieur au rendement des parcelles témoin non fertilisées (Nezomba *et al.*, 2015a).

Figure 7. Accumulation de P disponible pour la plante en sols sableux après quatre ans sous séquences GIFS dans les champs de petits paysans au Zimbabwe

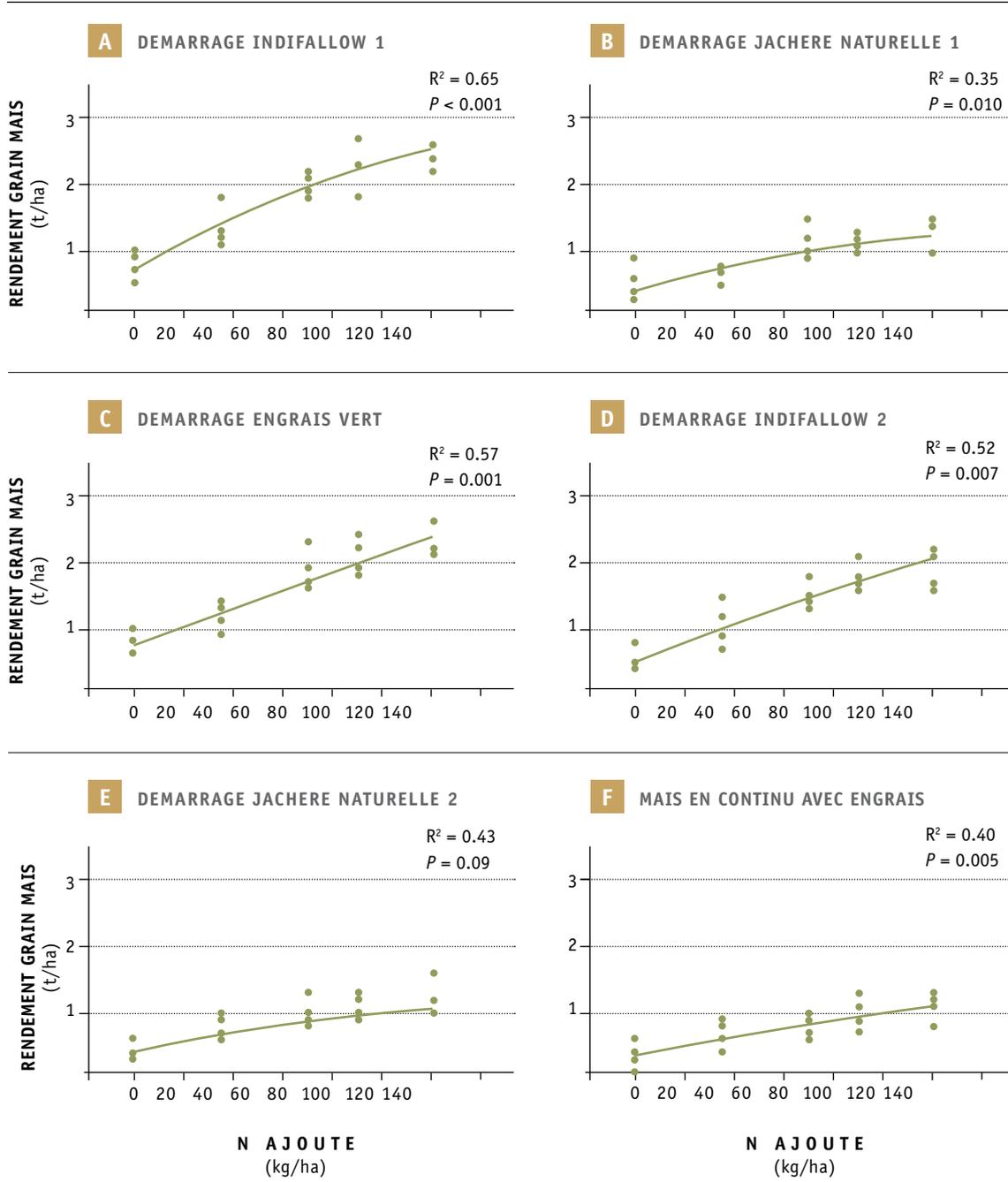


Source: Nezomba *et al.*, 2015b

Suite à la phase de redressement des sols, par des séquences GIFS quatre années durant, le rendement maïs a montré une évolution positive dans sa réponse aux différents taux d'application d'engrais azoté, parallèlement à une amélioration de la productivité des légumineuses à graines. La meilleure réponse du rendement maïs aux applications d'engrais azotés s'observe sur les parcelles sous séquences démarrées en indifallow (Démarrage indifallow) et sous engrais vert de chanvre du Bengale (Démarrage vert) (Figure 8). La supériorité de ces séquences est évidente comparée au maïs sous engrais en continu et aux jachères naturelles, avec un rendement allant jusqu'à 2 t/ha, contre environ 1 t/ha pour ces dernières. La faiblesse de la réponse à la fertilisation après les séquences de culture en continu du maïs sous engrais et de jachère naturelle est en cohérence avec la réponse aux engrais généralement atteinte par les paysans dans le cadre de leur pratique actuelle.



Figure 8. Réponse du rendement maïs grain à l'engrais N après quatre saisons sous diverses séquences GIFS sur un sol sableux, est du Zimbabwe



Source: Nezomba et al., 2015a

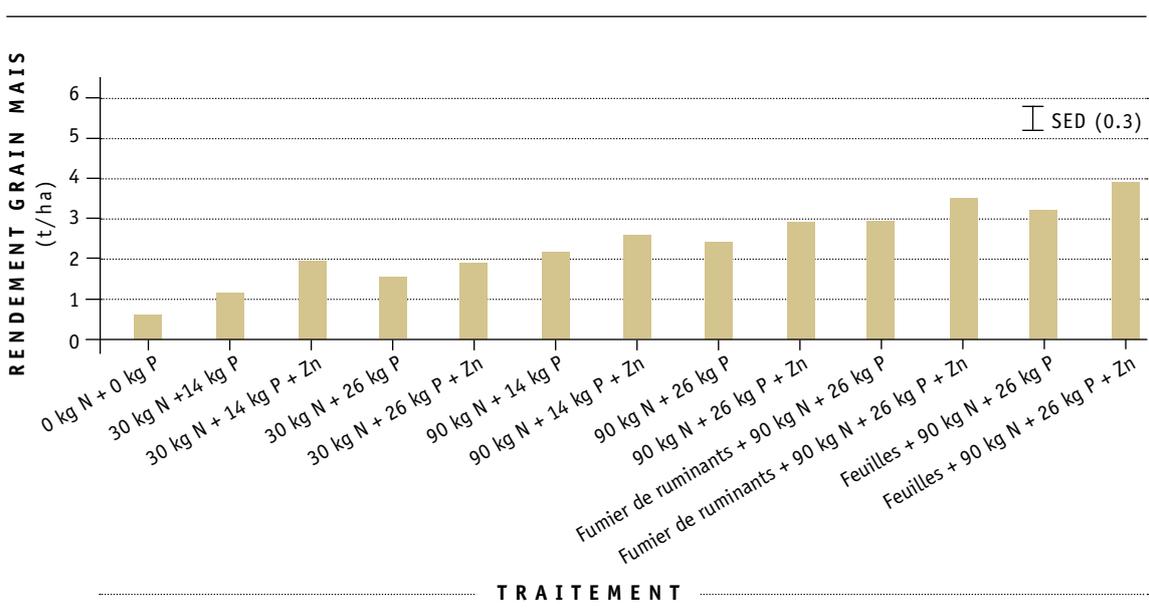


Remédier aux carences multi-nutriments

Si l'application séquentielle d'options de GIFS, centrées sur le recours aux légumineuses indigènes, a produit des améliorations significatives du rendement tant pour le maïs vivrier que pour les légumineuses (Nezomba *et al.*, 2015b), il a été observé également des carences multi-nutriments qui ne peuvent être comblées sans formulations d'engrais supplémentaires. Les régimes de fertilisation et les pratiques agronomiques tendent actuellement à se concentrer sur une gamme restreinte d'éléments macronutritifs, en particulier N, P et K (potassium), ainsi que, dans une moindre mesure, Ca (dans la chaux) et S (soufre). Cependant, les études sur la nutrition des végétaux démontrent de plus en plus l'aspect différencié des impacts de l'exploitation minière des nutriments sur l'état des micronutriments. De récentes études ont révélé une forte détérioration de la qualité des grains des céréales vivrières en Afrique australe, dont la cause est une carence en micronutriments: Zn, Se (sélénium), Fe (fer) et I (iode). Les effets en sont d'une gravité considérable sur la santé humaine, avec notamment impact sur la croissance et la cognition (surtout chez les enfants), susceptibilité aux infections diarrhéiques et aux pneumonies, détérioration des défenses immunitaires et malnutrition (Chilimba *et al.*, 2012; Manzeke *et al.*, 2012; Joy *et al.*, 2014).

Il semblerait que les carences en micronutriments opposent une barrière invisible aux rendements des systèmes agricoles. Des éléments de plus en plus convaincants suggèrent que les autres avantages, pour les rendements, de l'utilisation de ressources organiques de nutriments, ont pour origine la multiplicité de nutriments que relâchent ces dernières lors de leur minéralisation. Dans le cas du SOFECSA, des exemples typiques sont le fumier animal et les feuilles mortes de zones boisées (Manzeke *et al.*, 2014). Cependant, on a encore obtenu des gains significatifs de rendement après application combinée d'engrais au Zn avec du fumier ou

Figure 9. Avantages pour le rendement maïs de la fertilisation au zinc sur champs de petits paysans, sols sableux, Zimbabwe



Source: Manzeke *et al.*, 2014



des feuilles mortes et de l'engrais NPK (Figure 9). Cette combinaison a conduit à un progrès de plus de 35 pour cent sur le rendement en maïs grain et, surtout, a amélioré de façon importante la teneur en Zn du grain, et donc ses qualités nutritionnelles (Manzeke *et al.*, 2012). Ces conclusions sont confirmées par une étude parallèle de Rusinamhodzi *et al.*, (2013) montrant des réponses incrémentielles du rendement maïs à des combinaisons de chaulage et de formulations d'engrais au S, Zn et Mn (manganèse) après traitement au fumier et à l'engrais azoté.

LE CENTRE D'APPRENTISSAGE, COURROIE DE TRANSMISSION DE L'ADAPTATION ET DE L'ADOPTION: IMPLICATIONS POUR L'AGROÉCOLOGIE

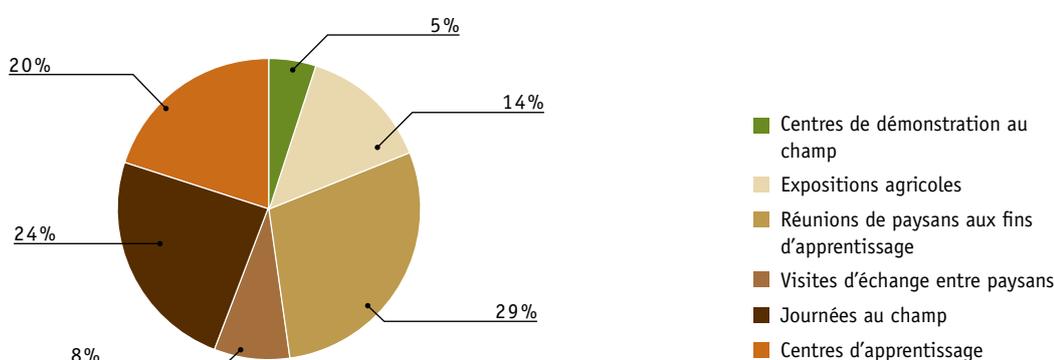
La montée en échelle des technologies et pratiques associées à la gestion et à la conservation des ressources naturelles a toujours représenté un défi en Afrique, en raison de leur non-adoption généralisée au sein des groupes bénéficiaires (voir p. ex. Ajayi *et al.*, 2007). Par exemple, des paquets technologiques tels que la GIFS, l'agriculture de conservation et l'agroforesterie n'ont pénétré que de façon limitée en Afrique, en dépit des preuves de leur rationalité technique et de leurs avantages potentiels (Mekuria et Siziba, 2003; Mugwe *et al.*, 2009; Corbeels *et al.*, 2014). Les résultats de ces recherches et de nombreuses autres ont mis au jour les lacunes des méthodes et approches actuelles de vulgarisation, qui ont été conçues essentiellement dans le contexte de l'agriculture conventionnelle. Compte tenu de cet arrière-plan et de son expérience d'adoption limitée des paquets techniques, le SOFECSA a élaboré le concept d'un *Centre d'apprentissage* paysan basé sur le champ. Cette approche a été mise à l'essai, notamment dans les districts de Hwedza et Makoni de l'est du Zimbabwe, et à un moindre degré dans le Malawi centre et sud et la province mozambicaine de Manica. Ce concept en émergence tourne essentiellement autour de la création d'un espace de co-apprentissage et de co-innovation pour les paysans, les vulgarisateurs et divers fournisseurs de services agronomiques, y compris les chercheurs. Un Centre d'apprentissage se définit comme une plate-forme interactive basée sur le champ paysan, où vont s'intégrer les savoirs locaux, conventionnels et émergents sur les technologies agricoles, pratiques et innovations performantes qui dépendent de l'expérimentation au niveau de l'exploitation pour une diffusion élargie permettant de résoudre des problèmes complexes. Les Centres d'apprentissage s'articulent en trois grands composants: i) une alliance paysanne d'apprentissage; ii) un champ qui sera utilisé pour l'évaluation participative et/ou l'adaptation d'options techniques en fonction de leur priorité; iii) une équipe de recherche / d'assistance technique. Le concept procède des hypothèses de base suivantes:

- » Les flux d'information et de connaissances entre les acteurs du développement technologique agricole, les processus d'évaluation et les processus d'adaptation (qui influent sur l'adoption des technologies) sont non linéaires et dépendent de processus interactifs de retour;
- » Les approches actuelles de vulgarisation n'offrent que peu d'opportunités pour une intégration des savoirs scientifiques conventionnels et des savoirs et processus locaux / indigènes qui soit propice à un réel apprentissage et à une réelle innovation;
- » La transmission aux paysans et aux communautés locales, par un processus basé sur l'apprentissage, de principes et de concepts portant sur des technologies pertinentes, leur permettra de produire eux-mêmes des solutions spécifiques à leur contexte.



Dans les zones couvertes par l'expérimentation, la mise en œuvre du concept de Centre d'apprentissage a conduit à un changement significatif des approches d'échange d'informations et de savoirs, ainsi que des schémas d'interaction entre chercheurs, agents vulgarisateurs (tant publics que privés) et paysans. L'intensification des échanges d'informations et de savoir, ainsi que la participation intégrative de différentes catégories paysannes, y compris les femmes (Mapfumo *et al.*, 2013; Mashavave *et al.*, 2013), ont ajouté une dimension nouvelle aux processus d'apprentissage des paysans et défini de nouvelles plates-formes d'apprentissage au niveau local / des communautés (Figure 10).

Figure 10. Préférences des paysans pour différentes plates-formes d'information et savoir agricoles, District de Hwedza, Zimbabwe



Source: Gwandu *et al.*, 2014

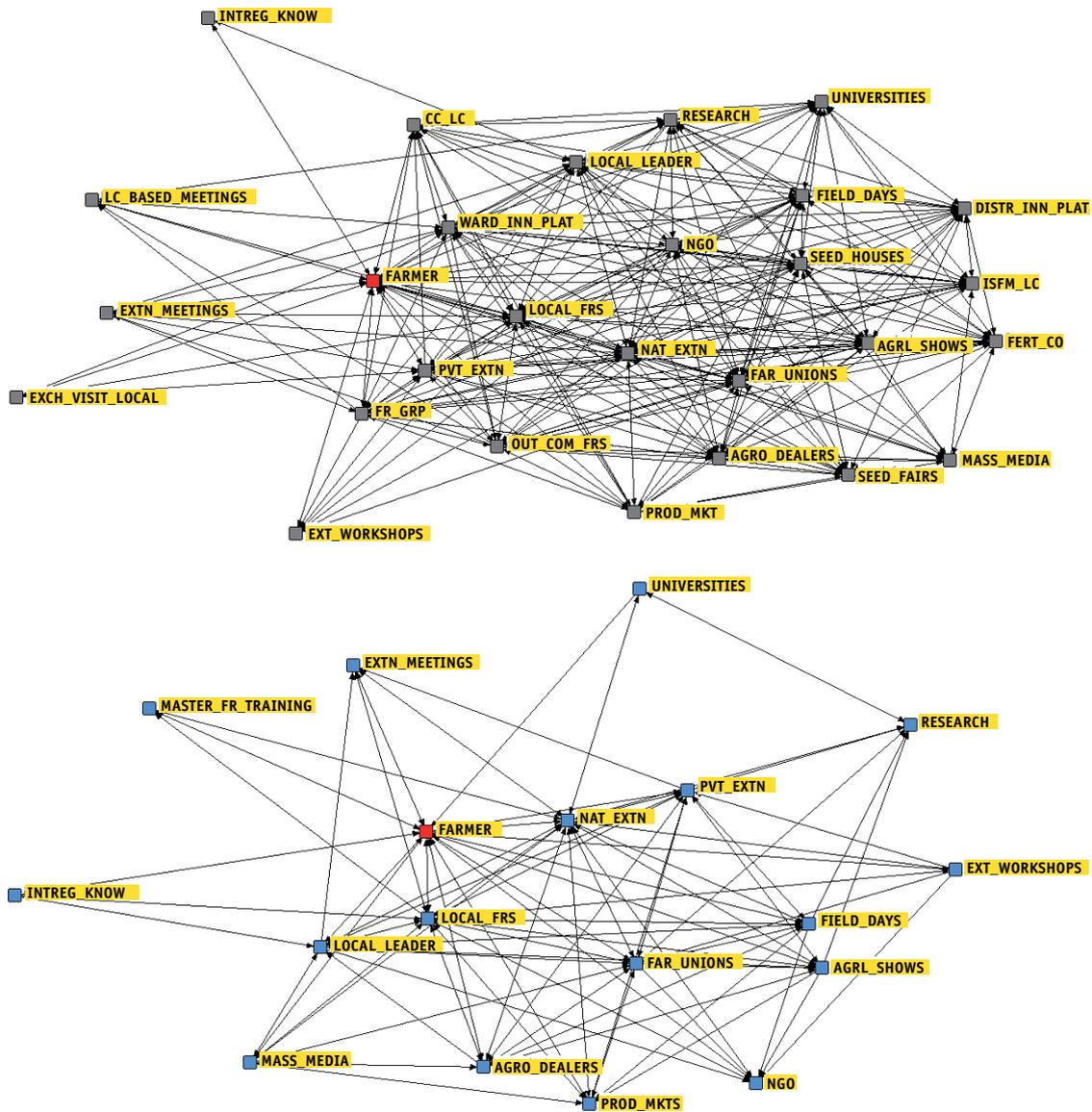
La composition de l'alliance d'apprentissage, par son caractère ouvert et dynamique, a conduit à des interactions plus efficaces entre les différentes parties prenantes. Là où les alliances paysannes d'apprentissage étaient en relation avec des plates-formes d'innovation défendues par l'agence nationale de vulgarisation à l'échelon du district, les interactions entre paysans et différentes parties prenantes ont gagné et en intensité, et en étendue (Figure 11). De ce fait, les Centres d'apprentissage ont le potentiel de servir de points d'entrée pour la solution de problèmes socio-écologiques, grâce à la capacité ainsi acquise par les paysans de se mobiliser et de s'organiser par eux-mêmes face à des problèmes locaux et de formuler leurs exigences de services spécifiques auprès des acteurs / parties prenantes concernés.

Les interventions du SOFECSA relatives à la mise en œuvre de Centres d'apprentissage ont été couronnées d'un succès raisonnable en termes d'amélioration de la productivité et de l'autosuffisance alimentaires pour les paysans qui y ont pris part (Nyikahadzo *et al.*, 2012; Mapfumo *et al.*, 2013). On peut principalement imputer la réussite des Centres d'apprentissage à :

- » leur travail à partir des savoirs locaux et leur soutien aux institutions locales pour faciliter les processus d'apprentissage;
- » leur transmission aux paysans et autres acteurs de principes plutôt que de prescriptions;
- » leur adoption d'une approche systémique qui a favorisé la participation d'acteurs multi-disciplinaires et pluri-institutionnels;



Figure 11. Interactions entre paysans et diverses parties prenantes avec (en haut) et sans (en bas) existence de Centres d'apprentissage appariés à des plates-formes d'innovation de district, Makoni, Zimbabwe



Clé de lecture: Chemins d'accès et échange d'information identifiés pour les petits paysans de Chinyika East, District de Makoni, Zimbabwe

SURCES D'INFORMATION		PLATES-FORMES POUR ÉCHANGES D'INFORMATION
AGRODEALERS: fournisseurs d'intrants agricoles	MASTERFRTRAINING: programmes centraux de formation paysanne	AGRLSHOWS: expositions agricoles
DISTINNPLAT: plate-forme d'innovation de district	NATEXTN: agents vulgarisateurs (du gouvernement)	CCLC: Centres d'apprentissage « changement climatique »
FARMERS: l'expérience propre du paysan	NGO: organisations non gouvernementales	EXCHVISITLOCAL: visites d'échange entre paysans locaux
FERTCO: compagnies de distribution d'engrais	OUTCOMFRS: paysans étrangers à la communauté	EXTWORKSHOPS: ateliers avec paysans non locaux
FRGRP: groupes locaux de paysans	PRODMKT: opérateurs des marchés des produits	EXTNMEETINGS: réunions de paysans sous facilitation de vulgarisateurs
FRUNIONS: syndicats d'agriculteurs	PVTXTENSION: agents vulgarisateurs (du privé)	FIELD DAY: journées au champ
INTREGKNOW: savoirs intergénérationnels	RESEARCH: organismes de recherche	ISFMLC: Centres d'apprentissage de gestion intégrée de la fertilité des sols
LOCALFRS: paysans de la même communauté	SEEDHOUSES: entreprises semencières	LCBAS ED MEETINGS: réunions de Centre d'apprentissage au champ
LOCALLEADER: personnages importants de la communauté	UNIVERSITIES: institutions d'enseignement supérieur	SEEDFAIRS: foires aux semences
MASSMEDIA: mass media	WARDINNPLAT: plates-formes d'innovation au niveau du ward	

Source: Mashavave et al., 2013



- » leur promotion du principe de la spécificité au contexte et de la solution sur mesure, par le ciblage d'agroécologies et de groupe socioéconomiques spécifiques (p. ex. la catégorisation des paysans en fonction de leur niveau de ressources);
- » leur incorporation, dans les principes qui étaient par la suite retransmis aux communautés dans les formations et les apprentissages qui ont suivi, des leçons apprises et du retour fourni par les paysans.

CONCLUSIONS

Les cas examinés dans le présent chapitre montrent clairement qu'il est envisageable de transformer les cycles de nutriments vicieux qui affectent les petites exploitations africaines en cycles vertueux à même de produire des résultats positifs pour leurs moyens d'existence. Il est clair que les petits paysans africains sont confrontés à de multiples facteurs de stress sous-tendus par la diminution de leur capacité à assurer une sécurité alimentaire durable sur la base des systèmes actuels de production agricole et des systèmes alimentaires qui leur sont associés. Une fertilité des sols basse et déclinante est un problème de premier plan, entraînant non seulement la dégradation des terres et l'insécurité alimentaire, mais encore des mutations des modes d'utilisation de la terre et de la gestion des ressources naturelles en Afrique par des communautés essentiellement composées de petits exploitants.

Des interventions d'un type nouveau sont indispensables pour soutenir la résilience des systèmes agricoles et de moyens d'existence en Afrique. Un besoin urgent se fait sentir d'un changement de paradigme pour passer à des approches agroécologiques plus holistiques, de façon à réussir la transition agricole et à renforcer la durabilité des moyens d'existence et de la sécurité alimentaire et nutritionnelle des paysans africains. Cette transition aura besoin des contributions de scientifiques de différentes disciplines, ainsi que de la collaboration des acteurs publics et privés du développement et des décideurs.

REMERCIEMENTS

Les interventions du SOFECSA ont bénéficié du financement de différents bailleurs de fonds par le canal de l'Université du Zimbabwe et de l'International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT). Ces bailleurs sont le Centre de recherches pour le développement international (CRDI, Canada), le Department for International Development (DFID, Royaume Uni), l'Union européenne, l'International Foundation for Science (IFS), Zinc Harvest Plus et le Comité de recherche de l'Université du Zimbabwe. Qu'ils soient ici hautement remerciés pour leur soutien.



RÉFÉRENCES

- Ajayi, O.C., Akinnifesi, F.K., Sileshi, G. & Chakeredza, S.** 2007. Adoption of renewable soil fertility replenishment technologies in the southern African region: Lessons learnt and the way forward. *Natural Resources Forum*, 31: 306-317.
- Akinnifesi, F.K., Sileshi, G., Ajayi, O.C., Chirwa, P.W., Mng'omba, S., Chakeredza, S. & Nyoka, B.I.** 2008. Domestication and conservation of indigenous Miombo fruit trees for improving rural livelihoods in southern Africa. *Biodiversity*, 9: 72-74.
- Aquino, P., Carrion, F., Calvo, R. & Flores, D.** 2001. *Selected maize statistics. Part 4 of the CIMMYT maize facts and trends.* Mexico City.
- Campbell, B. (ed.).** 1996. *The Miombo in Transition: Woodland and Welfare in Southern Africa.* Bogor, Indonesia, Centre for International Forest Research.
- Cavendish, W.** 2000. Empirical regularities in the poverty-environment relationship of rural households: evidence from Zimbabwe. *World Development*, 28: 1979-2003.
- Chagumaira, C., Rurinda, J., Nezomba, H., Mtambanengwe, F. & Mapfumo, P.** 2015. Use patterns of natural resources supporting livelihoods of smallholder communities and implications for climate change adaptation in Zimbabwe. *Environment, Development and Sustainability*. DOI 10.1007/s10668-015-9637-y
- Chikowo, R., Mapfumo, P., Nyamugafata, P., Nyamadzawo, G. & Giller, K.E.** 2003. Nitrate-N dynamics following improved fallows and maize root development in a Zimbabwean sandy clay loam. *Agroforestry Systems*, 59: 187-195.
- Chikowo, R., Zingore, S., Snapp, S. & Johnston, A.** 2014. Farm typologies, soil fertility variability and nutrient management in smallholder farming in Sub-Saharan Africa. *Nutrient Cycling Agroecosystems*, 100: 1-18.
- Chilimba, A.D.C., Young, S.D., Black, C.R., Meacham, M.C., Lammel, J. & Broadley, M.** 2012. Agronomic biofortification of maize with selenium (Se) in Malawi. *Field Crops Research*, 125: 118-128.
- Chilonda, P., Machelo, C. & Minde, I.** 2007. *Poverty, Food Security and Agricultural Trends in Southern Africa.* ReSAKSS Working Paper 1. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, International Food Policy Research Institute and International Water Management Institute (available at: www.resakss.org/sites/default/files/pdfs/poverty-food-security-and-agricultural-trends-in-s-39404.pdf).
- Corbeels, M., de Graaff, J., Ndahe, T.H., Penot, E., Baudron, F., Naudin, K., Andrieu, N., Chirat, G., Schuler, J., Nyagumbo, I., Rusinamhodzi, L., Traore, T., 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.
- Evenson, R.E. & Gollin, D.** 2003. Assessing the impact of the green revolution, 1960 to 2000. *Science*, 300: 758-762.
- FAO.** 1996. *Lessons from the green revolution: towards a new green revolution.* FAO Technical background document (available at: www.fao.org/docrep/003/w2612e/w2612e06a.htm).
- FAO.** 2013. *Climate Smart Agriculture Sourcebook.* Rome (available at: www.fao.org/publications).
- Garrity, D., Dixon, J. & Boffa, J.M.** 2013. *Understanding African Farming Systems: Science and Policy Implications.* Australian International Centre for Food Security (AICFS) and ACIAR, Australia. 55 pp.
- Giller, K.E., Tittonell, P., Rufino, M.C., van Wijk, M.T., Zingore, S., Mapfumo, P., Adjei-Nsiah, S., Herrero, M., Chikowo, R., Corbeels, M., Rowe, E.C., Baijukya, F., Mwijage, A., Smith, J., Yeboah, E., van der Burg, W.J., Sanogo, O.M., Misiko, M., de Ridder, N., Karanja, S., Kaizzi, C., K'ungu,**



- J., Mwale, M., Nwaga, D., Pacini, C. & Vanlauwe, B.** 2011. Communicating complexity: Integrated assessment of trade-offs concerning soil fertility management within African farming systems to support innovation and development. *Agricultural Systems*, 104(2): 191-203.
- Gwandu, T., Mtambanengwe, F., Mapfumo, P., Mashavave, T.C., Chikowo, R. & Nezomba, H.** 2014. Factors Influencing Access to Integrated Soil Fertility Management Information and Knowledge and its Uptake among Smallholder Farmers in Zimbabwe. *The Journal of Agricultural Education and Extension*, 20: 79-93.
- IPCC.** 2014. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK, Cambridge University Press.
- Joy, E.J.M., Ander, E.L., Young, S.D., Black, C.R., Watts, M.J., Chilimba, A.D.C, Chilima, B., Siyame, E.W.P., Kalimbira, A.A., Hurst, R., Fairweather-Tait, S.J., Stein, A.J., Gibson, R.S., White, P.J. & Broadley, M.R.** 2014. Dietary mineral supplies in Africa. *Physiologia Plantarum*, 151: 208-229.
- Kamanga, B.C.G., Kanyama-Phiri, G.Y., Waddington, S.R., Almekinders, C.J.M. & Giller, K.E.** 2014. The evaluation and adoption of annual legumes by smallholder maize farmers for soil fertility maintenance and food diversity in central Malawi. *Food Security*, 6: 45-59.
- Knowler, D. & Bradshaw, B.** 2007. Farmers' adoption of conservation agriculture: A review and synthesis of recent research. *Food Pol.*, 32: 25-48.
- Kurwakumire, N., Chikowo, R., Mtambanengwe, F., Mapfumo, P., Snapp, S., Johnston, A. & Zingore, S.** 2014. Maize productivity and nutrient and water use efficiencies across soil fertility domains on smallholder farms in Zimbabwe. *Field Crops Research*, 164: 136-147.
- Lal, R.** 2007. Anthropogenic influences on world soils and implications to global food security. *Advances in Agronomy*, 93: 69-93.
- Mapfumo, P.** 2009. *Integrating sustainable soil fertility management innovations in staple cereal systems and other value chains to enhance livelihoods and environmental systems in Southern Africa*. Rapport technique annuel du SOFECSA pour le sub-Saharan Challenges Program (SSA-CP) en vue du Forum for Agricultural Research in Africa (FARA). Soil Fertility Consortium of Southern Africa (SOFECSA). Harare, CIMMYT-Zimbabwe. 26 pp.
- Mapfumo, P.** 2011. Comparative Analysis of the Current and Potential Role of Legumes in Integrated Soil Fertility Management in Southern Africa. In A. Bationo, B. Waswa, J.M. Okeyo, F. Maina, J. Kihara & U. Mokwunye, eds. *Fighting Poverty in Sub-Saharan Africa: The Multiple Roles of Legumes in Integrated Soil Fertility Management*. 1st Edn., pp. 175-200. New York, USA, Springer.
- Mapfumo, P., Adjei-Nsiah, S., Mtambanengwe, F., Chikowo, R. & Giller, K.E.** 2013. Participatory action research (PAR) as an entry point for supporting climate change adaptation by smallholder farmers in Africa. *Environmental Development*, 5: 6-22.
- Mapfumo, P., Jalloh, A. & Hachigonta, S.** 2014. *Review of Research and Policies for Climate Change Adaptation in the Agriculture Sector in Southern Africa*. Future Agricultures Working Paper No. 100. Sussex, UK, Future Agriculture Consortium. 59 pp.
- Mapfumo, P. & Mtambanengwe, F.** 1999. Nutrient mining in maize-based systems of rural Zimbabwe. *Maize Production Technology for the Future: Challenges and Opportunities*. Proceedings of the Sixth Eastern and Southern Africa Regional Maize Conference, 21-25 September, 1998, pp. 274-277. Addis Abeba, CIMMYT/EARO.
- Mapfumo, P. & Mtambanengwe, F.** 2006. *Managing soil organic matter for improved nutrient use efficiency on smallholder farms in Zimbabwe (NUESOM)*. Rapport final de projet (Grant n° 2002 FS 189) soumis à la Fondation Rockefeller, University of Zimbabwe, Harare.



- Mapfumo P., Mtambanengwe F., Chisora, J. & Mano, R.** 2006. *Nature and causes of soil fertility gradients on smallholder farms in Zimbabwe: Defining thresholds for improved nutrient use efficiency*. 18th World Congress of Soil Science, 9-15 juillet 2006, Philadelphia, USA.
- Mapfumo, P., Mtambanengwe, F., Giller, K.E. & Mpepereki, S.** 2005. Tapping indigenous legumes for soil fertility management by resource-poor farmers in Zimbabwe. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 109: 221-233
- Mapfumo, P., Mtambanengwe, F. & Vanlauwe, B.** 2007. Organic matter quality and management effects on enrichment of soil organic matter fractions in contrasting soils in Zimbabwe. *Plant Soil*, 296: 137-150.
- Manzeke, G.M., Mapfumo, P., Mtambanengwe, F., Chikowo, R., Tendayi, T. & Cakmak, I.** 2012. Soil fertility management effects on maize productivity and grain zinc content in smallholder farming systems of Zimbabwe. *Plant and Soil*, 361: 57-69.
- Manzeke, G.M., Mtambanengwe, F., Nezomba, H. & Mapfumo, P.** 2014. Zinc fertilization influence on maize productivity and grain nutritional quality under integrated soil fertility management in Zimbabwe. *Field Crops Research*, 166: 128-136.
- Manzungu, E. & Mtali, L.** 2012. An investigation into the spatial and temporal distribution of fallow land and the underlying causes in South Central Zimbabwe. *Journal of Geography and Geology*, 4: 62-75.
- Marenya, P. & Barrett, C.B.** 2007. Household-level determinants of adoption of improved natural resources management practices among smallholder farmers in western Kenya. *Food Policy*, 32: 515-536.
- Mashavave, T., Mapfumo, P., Mtambanengwe, F., Gwandu, T. & Siziba, S.** 2013. Interaction patterns determining improved information and knowledge sharing among smallholder farmers. *African Journal of Agricultural and Resource Economics*, 8(1): 1-12.
- Mekuria, M. & Siziba, S.** 2003. Financial and risk analysis to assess the potential adoption of green manure technology in Zimbabwe and Malawi. In S. Waddington, ed. *Grain Legumes and Green Manures for Soil Fertility in Southern Africa: Taking Stock of Progress*, pp. 215-221. Harare, Soil Fert Net and CIMMYT-Zimbabwe.
- Mtambanengwe, F. & Mapfumo, P.** 2005. Organic matter management as an underlying cause for soil fertility gradients on smallholder farms in Zimbabwe. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 73: 227-243.
- Mtambanengwe, F. & Mapfumo, P.** 2008. Smallholder farmer management impacts on particulate and labile carbon fractions of granitic sandy soils in Zimbabwe. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 81: 1-15.
- Mugwe, J., Mugendi, D., Mucheru-Muna, M., Merckx, R., Chianu, J. & Vanlauwe, B.** 2009. Determinants of the Decision to Adopt Integrated Soil Fertility Management Practices by Small Holder Farmers in the Central Highlands of Kenya. *Experimental Agriculture*, 45: 72-73.
- Nations Unies.** 1997. *Global change and sustainable development: critical trends*. Rapport du Secrétaire Général. Conseil économique et social, Commission pour le développement durable. New York, USA.
- Nezomba, H., Mtambanengwe, F., Chikowo, R. & Mapfumo, P.** 2015a. Sequencing integrated soil fertility management options for sustainable crop intensification by different categories of smallholder farmers in Zimbabwe. *Experimental Agriculture*, 51: 17-41.
- Nezomba, H., Mtambanengwe, F., Tittonell, P. & Mapfumo, P.** 2015b. Point of no return? Rehabilitating degraded soils for increased crop productivity on smallholder farms in eastern Zimbabwe. *Geoderma*, 239/240: 143-155.
- Nezomba, H., Tauro, T.P., Mtambanengwe, F. & Mapfumo, P.** 2010. Indigenous legume fallows (indifallows) as an alternative soil fertility resource in smallholder maize cropping systems. *Field Crops Research*, 115: 149-157.



- Nyathi, P. & Campbell, B.M.** 1993. The acquisition and use of miombo litter by small-scale farmers in Masvingo, Zimbabwe. *Agroforestry Systems*, 22: 43-48.
- Nyikahadzoi, K., Siziba, S., Mango, N., Mapfumo, P., Adekunle, A. & Fatunbi, O.** 2012. Creating food self reliance among the smallholder farmers of eastern Zimbabwe: Exploring the role of integrated agricultural research for development. *Food Security*, 4: 647-656.
- Pingali, P.** 2012. Green Revolution: impacts, limits, and the path ahead. *PNAS*, 109(31): 12302-12308.
- Rowe, E.C., van Wijk, M.T., de Ridder, N. & Giller, K.E.** 2006. Nutrient allocation strategies across a simplified heterogeneous African smallholder farm. *Agriculture Ecosystems Environment*, 116: 60-71.
- Rurinda, J., Mapfumo, P., van Wijk, M.T., Mtambanengwe, F., Rufino, M.C., Chikowo, R. & Giller, K.E.** 2014. Sources of vulnerability to a variable and changing climate among smallholder households in Zimbabwe: A participatory analysis. *Climate Risk Management*, 3: 65-78.
- Rusinamhodzi, L., Corbeels, M., Zingore, S., Nyamangara, J. & Giller, K.E.** 2013. Pushing the envelope? Maize production intensification and the role of cattle manure in recovery of degraded soils in smallholder farming areas of Zimbabwe. *Field Crops Research*, 147: 40-53.
- Sanchez, P.A., Shephard, K.D., Soule, M.J., Place, F.M., Buresh, R.J., Izac, A.N., Mokunye, A.U., Kwesiga, F.R., Ndiritu, C.G. & Wooster, P.L.** 1997. Soil fertility replenishment in Africa: An investment in natural resource capital. In J.R. Buresh, P.A. Sanchez & F. Calhoun, eds. *Replenishing Soil Fertility in Africa*, pp. 1-46. SSSA Special Publication 51. Madison, WI, USA, SSSA.
- Shackleton, S. E., & Gumbo, D.J.** 2010. Contribution of non-wood forest products to livelihoods and poverty alleviation. In E.N. Chidumayo & D.J. Gumbo, eds. *The dry forest and woodlands of Africa*, pp. 63-91. London, Earthscan.
- Shackleton, C. & Shackleton, S.** 2004. The importance of non-timber forest products in rural livelihood security and as safety nets: A review of evidence from South Africa. *South African Journal of Science*, 100: 658-664.
- Smale, M. & Jayne, T.** 2003. Maize in Eastern and Southern Africa: Seeds of Success in Retrospect. *Discussion Paper No. 97*. International Food Policy Research Institute (IFPRI), Environment and Production Technology Division (EPTD). Washington, DC. 90 pp.
- Smaling, E.M.A., Nandwa, S.M. & Jansen, B.H.** 1997. Soil fertility in Africa is at stake. In R.J. Buresh, P.A. Sanchez & F. Calhoun, eds. *Replenishing Soil Fertility in Africa*, pp 47-61. Soil Science Society of America Publication 51. Madison, USA, SSSA and ASA.
- Smaling, E.M.A., Stoorvogel, J.J. & Windmeijer, P.N.** 1993. Calculating soil nutrient balances in Africa at different scales – II. District scale. *Fertilizer Research*, 35: 237-335.
- Swift, M.J., Frost, P.G.H., Campbell, B.M., Hatton, J.C. & Wilson, K.B.** 1989. Nitrogen cycling in farming systems derived from savanna: Perspectives and challenges. In M. Clarholm & L. Bergstrom, eds. *Ecology of arable land*, pp 63-76. Dordrecht, Netherlands, Kluwer Academic.
- Tauro, T.P., Nezomba, H., Mtambanengwe, F. & Mapfumo, P.** 2009. Germination, field establishment patterns and nitrogen fixation of indigenous legumes on nutrient-depleted soils. *Symbiosis*, 48: 92-101.
- Tauro, T.P., Nezomba, H., Mtambanengwe, F. & Mapfumo, P.** 2010. Population dynamics of mixed indigenous legume fallows and influence on subsequent maize following mineral P application in smallholder farming systems of Zimbabwe. *Nutrient cycling in agro-ecosystems*, 88: 91-101.
- Thornton, P.K., Herrero, M., Freeman, A., Mwai, O., Rege, E., Jones, P. & McDermott, J.** 2007. Vulnerability, Climate Change and Livestock: Research Opportunities and Challenges for Poverty Alleviation. *Journal of Semi-Arid Tropical Agricultural Research*, 4(1) (available at: ejournal.icrisat.org).



- Tittonell, P., Muriuki, A., Shepherd, K.D., Mugendi, D., Kaizzi, K.C., Okeyo, J., Verchot, L., Coe, R. & Vanlauwe, B.** 2010. The diversity of rural livelihoods and their influence on soil fertility in agricultural systems of East Africa – a typology of smallholder farms. *Agricultural Systems*, 103: 83–97.
- Tittonell, P., Vanlauwe, B., Leffelaar, P.A., Rowe, E.C. & Giller, K.E.** 2005. Exploring diversity in soil fertility management of smallholder farms in western Kenya. Heterogeneity at region and farm scale. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 110: 149-165.
- Tribe, D.** 1994. *Feeding and Greening the World: The Role of International Agricultural Research*. Wallingford, UK, CAB International.
- van Ittersum, M.K., Cassman, K.G., Grassini, P., Wolf, J., Tittonell, P. & Hochman, Z.** 2013. Yield gap analysis with local to global relevance – A review. *Field Crops Research*, 143: 4-17.
- Woittiez, L.S., Rufino, M.C., Giller, K.E. & Mapfumo, P.** 2013. The use of woodland products to cope with climate variability in communal areas in Zimbabwe. *Ecology and Society*, 18(4): 24.
- World Soil Resource Base.** 1998. *World Soil Resources Report No. 84*. Rome, FAO.
- Zingore, S., Murwira, H.K., Delve, R.J. & Giller, K.E.** 2007 Influence of nutrient management strategies on variability of soil fertility, crop yields and nutrient balances on smallholder farms in Zimbabwe. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 119: 112-126.



04

L'AGROÉCOLOGIE: CONCEVOIR DES SYSTÈMES DE PRODUCTION RÉSILIENTS AU CHANGEMENT CLIMATIQUE POUR LES PETITS PAYSANS DES PAYS EN VOIE DE DÉVELOPPEMENT

Clara I. Nicholls, Miguel A. Altieri

University of California, Berkeley and Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología (SOCLA)
Courriel: claranicholls@icloud.com; agroeco3@berkeley.edu



© Manon Koningstein/CIAT



Résumé

Le changement climatique aura divers impacts sur la production agricole, en raison d'une augmentation des températures à la surface du globe, avec des conséquences pour la fréquence et le volume des précipitations. Les plus durement impactés devraient être les petits paysans, menacés de pertes significatives de leur production agricole. L'adaptation au changement climatique est considérée comme un facteur clé pour diminuer la sévérité de ses impacts sur la production alimentaire. Par chance, de nombreux systèmes de production traditionnels perdurent dans les pays en voie de développement et constituent des réservoirs d'une grande richesse pour des principes et des mesures qui, à condition d'être diffusés de façon effective, peuvent aider des milliers de petits paysans à acquérir une meilleure résilience face aux extrêmes climatiques. Il est crucial de bien comprendre les caractéristiques agroécologiques qui sous-tendent la résilience des agrosystèmes traditionnels, car elles peuvent fournir la fondation du travail de conception de systèmes agricoles adaptés. Les stratégies agroécologiques utilisées par les paysans traditionnels pour réduire leur vulnérabilité face à la variabilité climatique sont: la diversification des cultures, la préservation de la diversité génétique locale, l'intégration de la production animale, la gestion organique des sols, la conservation et la collecte de l'eau, etc. Les observations de performance agricole suite à des événements climatiques extrêmes (ouragans et sécheresses) au cours des deux dernières

décennies ont mis en évidence les liens étroits entre résilience face aux désastres climatiques et un niveau élevé de biodiversité sur l'exploitation. Les enquêtes de terrain et leurs résultats tels que rapportés dans la littérature suggèrent qu'un agroécosystème est plus résilient quand il forme une partie d'une matrice complexe de paysages, utilisant du germplasma local adapté et déployé sur des systèmes agricoles diversifiés, sur des sols riches en matière organique, et recourant à des techniques de collecte et de conservation de l'eau. Il est urgent de passer à l'identification des systèmes qui ont résisté à des événements climatiques, récemment ou plus loin dans le passé, et d'arriver à comprendre les caractéristiques agroécologiques qui ont permis à ces systèmes de perdurer et/ou de se redresser suite à des événements extrêmes. Les principes et pratiques de résilience qui sous-tendent le succès de ces exploitations peuvent être diffusés auprès de milliers d'agriculteurs à travers les réseaux *campesino-a-campesino* (paysan-à-paysan) de façon à permettre la montée en échelle des pratiques agroécologiques à l'origine de la résilience des agroécosystèmes. Même un agroécosystème biodiversifié peut être vulnérable au changement climatique à plus long terme s'il ne passe pas par un processus continu d'adaptation – ou même de transformation. Dès lors, l'adaptation de l'agrobiodiversité locale, sous gestion agroécologique, va constituer une exigence constante pour faire face à la menace des changements climatiques à venir.



INTRODUCTION

La plupart des scientifiques s'accordent pour prédire que le changement et la variabilité climatiques vont impacter la production alimentaire et de fibres dans le monde entier, en raison des effets sur la croissance et le rendement des cultures d'une teneur plus élevée en CO₂, de températures plus élevées, de l'altération des régimes de précipitations et de transpiration, de la plus grande fréquence d'événements climatiques extrêmes, et de la modification des pressions d'adventices, de ravageurs et de pathogènes (CIPV, 2014). De nombreuses études de modélisation suggèrent que les pertes de récoltes se produiront de plus en plus fréquemment dans les petites exploitations des pays en voie de développement en raison de la variabilité climatique et de la fréquence croissante d'événements extrêmes tels qu'inondations et sécheresses, ou encore de modifications de la variance des précipitations et de la température (voir Figure 1) (Rosenzweig et Hillel, 2008). S'il est exact que les petits paysans peuvent être sévèrement touchés par un événement climatique extrême, les données dont nous disposons ne fournissent qu'une approximation grossière, où tous les petits paysans sont regroupés sans distinction. L'hétérogénéité des petites exploitations est ignorée, et aucune distinction n'est faite entre celles qui recourent à des pratiques agroécologiques et celles appliquent les pratiques conventionnelles. L'aspect le plus pertinent des relations entre changement climatique et agriculture paysanne est peut-être la réalisation du fait que de nombreux petits paysans s'adaptent et même se préparent au changement climatique, limitant les pertes de récoltes par un recours accru à des variétés locales résistantes à la sécheresse, ainsi qu'à la collecte de l'eau, aux cultures intercalaires, à l'agroforesterie, aux pratiques de conservation des sols et à toute une série d'autres techniques traditionnelles (Altieri et Koohafkan, 2008).

Figure 1. **Une sécheresse peut affecter sévèrement une culture sous dry farming comme ce maïs (maíz de temporal) de la Région de Mixteca au Mexique**



© Miguel Altieri



Les observations de performance agricole suite à des événements climatiques extrêmes au cours des deux dernières décennies ont mis en évidence les liens étroits entre la résilience face aux désastres climatiques et le niveau de diversité génétique et de diversité des cultures pratiqué par les exploitants. La gestion de l'exposition au risque est une préoccupation de premier plan pour un ménage agricole vivant dans un environnement marginal; c'est le seul système d'assurance dont disposent ces paysans, faisant appel à une autosuffisance créative, aux savoirs basés sur l'expérience, et aux ressources disponibles localement, dont la biodiversité présente sur l'exploitation (Altieri, 2002). De nombreux paysans traditionnels parviennent à des résultats positifs durables par des mesures agroécologiques telles que la diversification des agroécosystèmes sous forme de polycultures, les systèmes agroforestiers, et les systèmes agriculture-élevage, accompagnées de gestion organique des sols, conservation et collecte de l'eau, et de façon générale une agrobiodiversité renforcée. Nous nous attacherons, dans le présent chapitre, à montrer l'urgence de bien comprendre les caractéristiques agroécologiques qui sous-tendent la résilience des agrosystèmes traditionnels, car elles peuvent fournir la fondation du travail de conception de systèmes agricoles adaptés. Ce qui est nécessaire est une transition agroécologique de la petite exploitation, en favorisant la diversité sur les champs et l'hétérogénéité des paysages – une stratégie qui constitue un chemin assuré vers une activité agricole productive, durable et résiliente, tout en limitant les impacts socioéconomiques et environnementaux indésirables du changement climatique (Altieri, 2002; De Schutter, 2010).

LES SYSTÈMES DE PRODUCTION TRADITIONNELS, MODÈLES DE RÉSILIENCE

De nombreux systèmes de production traditionnels, encore en usage dans beaucoup de pays en voie de développement, présentent un large éventail d'options de gestion et de conception qui améliorent la biodiversité fonctionnelle dans les champs cultivés, et de ce fait contribuent à la résilience des agroécosystèmes (Toledo et Barrera-Bassols, 2008; Koohafkan et Altieri, 2010). Accoutumés depuis des siècles à s'adapter aux événements climatiques extrêmes et à la variabilité climatique, les paysans qui vivent dans des environnements hostiles en Afrique, en Asie et en Amérique latine ont élaboré et/ou hérité des systèmes de production complexes qu'ils gèrent avec ingéniosité. Ces systèmes ont permis aux familles de petits agriculteurs de satisfaire leurs besoins élémentaires dans un contexte de variabilité environnementale sans dépendre des technologies agricoles modernes (Denevan, 1995). Le fait même que l'agriculture traditionnelle continue de fonctionner sur des millions d'hectares constitue la preuve vivante du succès d'une stratégie agricole indigène, qui constitue un tribut à la «créativité» du petit paysan dans tous les pays en voie de développement (Wilken, 1987).

Cette créativité se manifeste par exemple dans les milliers d'hectares cultivés sur des systèmes de billons dans des zones de savane et de bassins de hautes terres à inondation saisonnière au Surinam, au Venezuela, en Colombie, en Équateur, au Pérou et en Bolivie. L'origine et le choix d'utilisation de ces systèmes sont traditionnellement associés à des problèmes de gestion de l'eau, soit dans le but de limiter les effets néfastes d'un excès d'eau pour la production agricole,



soit dans celui de collecter activement l'eau en excédent pour irriguer les cultures quand la pluie fait défaut. On peut citer également l'exemple des cultures en zones humides sujettes à inondations régulières appelées *chinampas* dans la vallée de Mexico (Armillas, 1971) et les *waru waru* à proximité du lac Titicaca au Pérou et en Bolivie (Erickson and Chandler, 1989).

Aujourd'hui, en plein vingt-et-unième siècle, des millions de petits paysans, d'agriculteurs familiaux et de groupes indigènes continuent de pratiquer une agriculture de conservation des ressources. Cette continuité témoigne de la remarquable résilience dont font preuve ces agroécosystèmes face à un incessant changement environnemental et économique, tout en contribuant de façon substantielle à la préservation de l'agrobiodiversité et à la sécurité alimentaire aux niveaux local, régional et national (Netting, 1993). Une revue portant sur 172 études de cas et rapports de projets venant du monde entier montre que la biodiversité agricole, telle que les paysans traditionnels l'utilisent, contribuent à la résilience grâce à diverses stratégies, fréquemment combinées entre elles: la protection et le redressement des écosystèmes, l'utilisation durable des ressources en sol et en eau, l'agroforesterie, la diversification des systèmes agricoles, divers ajustements aux pratiques culturelles, ainsi que l'utilisation et l'amélioration de variétés résistantes au stress (Mijatović *et al.*, 2013).

En dépit de la résilience de l'agriculture traditionnelle, le changement climatique constitue une menace grave pour environ 370 millions d'agriculteurs parmi les plus pauvres, qui vivent fréquemment dans des zones arides ou semi-arides, ou dans des zones montagneuses ou collinaires à l'écologie vulnérable (Thornton, 2003). De nombreux pays voient de plus en plus de leurs habitants, notamment au plus bas niveau de revenu, contraints de vivre dans des zones marginales (c.-à-d. plaines inondables, flancs de collines exposés, terres arides ou semi-arides), où ils sont exposés aux impacts négatifs de la variabilité climatique. Même des modifications climatiques mineures peuvent se révéler désastreuses pour la vie et les moyens d'existence de ces groupes à grande vulnérabilité. Les implications pour la sécurité alimentaire pourraient aller très loin, notamment pour les agriculteurs de subsistance habitant des environnements fragiles et éloignés qui présentent traditionnellement de très faibles rendements. Ces paysans dépendent de cultures qui pourraient subir des dommages considérables, telles que maïs, haricots, pommes de terre et riz, et une chute supplémentaire de rendement ne leur laisserait que très peu de liberté d'adaptation.

Malgré la gravité des implications de ces prédictions basées sur des modèles, ces données constituent une approximation à grands traits des effets du changement climatique sur les petites exploitations; elles laissent fréquemment de côté la capacité d'adaptation des petits paysans qui recourent à plusieurs stratégies agroécologiques et à des réseaux de solidarité sociale pour s'adapter et même se préparer à la variabilité climatique extrême (Altieri et Koohafkan, 2008). Les données qui rapportent les prédictions d'impact des phénomènes climatiques extrêmes sur les petits paysans agrègent tous ceux-ci en un groupe univoque, sans faire de distinction entre ceux qui appliquent des pratiques agroécologiques et ceux qui s'en remettent aux méthodes conventionnelles. De nombreux chercheurs ont mis en évidence le fait que, tout en étant très sensibles à leur niveau de risque, les peuples indigènes et les communautés locales réagissent activement aux conditions climatiques en mutation et ont déjà fait la démonstration de leur résilience et de leur inventivité face au changement climatique. Des stratégies comme



la préservation de la diversité génétique et interspécifique dans les champs et les troupeaux apportent un effet tampon à faible niveau de risque dans les environnements climatiques aléatoires (Altieri et Nicholls, 2013). Par la diversité, tant temporelle que spatiale, qu'ils créent, les paysans traditionnels ajoutent encore davantage de diversité fonctionnelle et de résilience aux systèmes exposés à des fluctuations dans le temps de leur climat (Perfecto *et al.*, 2009).

Une étude portant sur plusieurs pays, analysant la résilience des systèmes de production des petits producteurs africains face à la variabilité et au changement climatiques de 2007 à 2010, a explicité les priorités affectées par les paysans aux stratégies d'adaptation au changement climatique: (i) amélioration de la fertilité des sols par les engrais verts et les résidus organiques; (ii) conservation de l'eau et des sols; (iii) élaboration de mécanismes pour créer et entretenir des réserves stratégiques alimentaires locales; (iv) soutien aux réseaux traditionnels de solidarité sociale pour protéger les groupes vulnérables; (v) conservation des arbres fruitiers indigènes et des autres variétés agricoles localement adaptées; (vi) recours à des pratiques alternatives de jachère et de labour pour remédier aux carences en humidité et en nutriments liées au changement climatique; et (vii) adapter la topographie des terres pour parer aux carences en humidité liées au changement climatique et réduire le risque de dégradation des terres agricoles (Mapfumo *et al.*, 2013).

BIODIVERSITÉ ET RÉSILIENCE DANS LES AGROÉCOSYSTÈMES

Le niveau de biodiversité présent au sein d'un système agricole peut faire toute la différence entre une situation de stress ou une démonstration de résilience du système quand il est confronté à une perturbation biotique ou abiotique. Dans tout agroécosystème, la présence d'organismes divers est nécessaire pour son fonctionnement et pour qu'il puisse fournir des services écosystémiques (Altieri et Nicholls, 2004). Quand un agroécosystème subit une simplification, cela se traduit par l'élimination de groupes fonctionnels entiers d'espèces, l'état d'équilibre du système passant d'un état souhaitable à un état moins souhaitable, avec une réduction de sa capacité à réagir aux changements et à générer des services écosystémiques (Folke, 2006). La diversité présente dans les agroécosystèmes se répartit en deux catégories: diversité fonctionnelle et diversité de réponse. La diversité fonctionnelle fait référence aux divers organismes et aux services écosystémiques qu'ils fournissent et qui permettent au système de continuer à fonctionner (Loreau *et al.*, 2001). La diversité de réponse désigne la diversité des réactions des espèces contribuant à une même fonction écosystémique quand elles sont confrontées à un changement environnemental. Un agroécosystème disposant d'un degré élevé de diversité de réponse est plus résilient face à des chocs de toutes sortes et de toutes intensités (Cabell and Oelofse, 2012).

La biodiversité améliore le fonctionnement d'un écosystème parce que chaque espèce ou chaque génotype remplit des fonctions légèrement différentes et, de ce fait, occupe une niche écologique spécifique (Vandermeer *et al.*, 1998). En général le nombre d'espèces est très supérieur à celui des fonctions et on a ainsi un système intégrant des redondances. Dès lors, la



biodiversité renforce le fonctionnement de l'écosystème, parce que certains composants de celui-ci, qui peuvent sembler superflus parce que redondants à un moment donné, peuvent devenir importants suite à un changement de l'environnement. La considération clé est que suite à un changement de l'environnement, les redondances du système permettent à celui-ci de continuer à fonctionner et à fournir des services écosystémiques. Par ailleurs, la diversité des espèces oppose un effet tampon aux problèmes causés par les fluctuations de l'environnement en renforçant la capacité de l'écosystème à compenser ces fluctuations. En cas d'échec d'une espèce, d'autres vont reprendre son rôle, les réactions de la communauté écosystémique dans son ensemble ou les caractéristiques mêmes de l'écosystème devenant moins chaotiques (Lin, 2011).

Étant donné ce rôle positif de la biodiversité en termes de stabilité agroécosystémique, de nombreux chercheurs avancent que le renforcement de la biodiversité des productions agricoles prendra encore plus d'importance dans un avenir marqué par des bouleversements climatiques spectaculaires. Une diversité accrue au sein des agroécosystèmes pourrait les abriter des variations de précipitations et de température, et même le cas échéant inverser, dans le long terme, la tendance au déclin des rendements, au fur et à mesure que toutes sortes de différentes cultures et variétés exprimeront leurs réponses propres face à ces chocs (Altieri and Koohafkan, 2013).

RENFORCER LA BIODIVERSITÉ POUR RÉDUIRE LA VULNÉRABILITÉ

Cela fait plusieurs dizaines d'années que les agroécologistes soutiennent qu'une stratégie clé pour concevoir une agriculture durable est la réintroduction de la diversité dans les champs agricoles et les paysages environnants, avec une gestion plus efficace de cette diversité (Altieri et Nicholls, 2004). La diversification peut prendre de nombreuses formes: variété génétique et diversité interspécifique (p. ex. mélanges de variétés et polycultures), et recouvrir des échelles différentes, du champ au paysage (agroforesterie, intégration agriculture-élevage, haies, corridors, etc.), les paysans disposant ainsi d'une large gamme d'options et de combinaisons pour la mise en œuvre de cette stratégie. La diversification d'un écosystème fait émerger des propriétés agroécologiques qui vont lui permettre de fonctionner d'une façon qui préserve fertilité des sols, production agricole et régulation des ravageurs. Il existe de nombreuses pratiques de gestion agroécologique qui augmentent la diversité agroécosystémique pour fournir une assise à la qualité des sols, à la santé des plantes et à la productivité agricole. Pour un grand nombre d'entomologistes et de phytopathologistes, la diversité intraspécifique (génotypes) et interspécifique (espèces) réduit la vulnérabilité des cultures aux maladies et insectes spécialistes d'une espèce. Il existe une vaste somme de littérature rapportant le schéma récurrent d'une moindre incidence d'insectes agresseurs et d'une moindre prévalence de maladies au sein des systèmes agricoles diversifiés (mélanges variétaux, polycultures, systèmes agroforestiers, etc.), d'où moins de dégâts aux cultures et des rendements plus élevés pour les cultures mixtes que pour les monocultures correspondantes (Francis, 1986; Altieri, 2002).

Swiderska *et al.* (2011) a démontré que le maintien de diverses variétés traditionnelles (maïs, pomme de terre, riz) et l'accès à leurs semences sont essentiels à l'adaptation et à la survie des paysans pauvres en Chine, en Bolivie et au Kenya. Même quand elles sont plantées en parallèle avec des variétés modernes, ces variétés traditionnelles restent en culture, fournissant



une solution de repli quand les conditions sont défavorables (Figure 2). C'est ainsi qu'en Chine, quand des paysans relevant de quinze différentes municipalités ont mis en culture quatre mélanges différents de variétés de riz sur 3 000 ha, leurs récoltes ont subi une incidence de pyriculariose 44 pour cent inférieure, et atteint un rendement supérieur de 89 pour cent, par rapport à des champs plantés en variétés homogènes, sans qu'il soit besoin d'appliquer des fongicides (Zhu *et al.*, 2000). Maintenir la diversité d'espèces dans les champs donne un effet tampon contre les insectes agresseurs ainsi que contre les aléas de la météo. Au Kenya, les scientifiques de l'ICIPE (International Centre of Insect Physiology and Ecology) ont mis au point un système push-pull mettant en œuvre deux plantes cultivées avec le maïs: une qui repousse les foreurs ('push') et une autre qui les attire ('pull'), les tenant à l'écart de la culture (Khan *et al.*, 1998). Deux des plantes-pièges les plus utiles sont l'herbe de Napier et l'herbe du Soudan (plantées en bordure du maïs). Ces plantes attirent les ennemis naturels des foreurs, tels que la guêpe parasite (*Cotesia sesamiae*), tout en fournissant une importante source de fourrage. Deux plantes repoussant particulièrement bien les foreurs sont l'herbe à miel (qui repousse aussi les tiques) et la légumineuse *Desmodium uncinatum*, qui améliore également d'un facteur de 40 la suppression de l'adventice parasite *Striga* par rapport à la monoculture de maïs. La capacité de fixation de l'azote des espèces de *Desmodium* contribue à la fertilité du sol, entraînant une augmentation de 15 à 20 pour cent du rendement maïs. Elle constitue également une excellente source de fourrage (Khan *et al.*, 1998).

Figure 2. **La préservation et l'utilisation de variétés traditionnelles gérées avec des technologies traditionnelles offrent une protection contre le risque climatique**



© Miguel Altieri

De nombreux paysans de la Mixteca Alta, au Mexique, continuent de cultiver le *maíz de cajete*, qui est plus résistant à la sécheresse que le *maíz de temporal*. Ce maïs est planté à une profondeur précise dans le sol, où il trouve assez d'humidité pour lever en l'absence de précipitations et produire des rendements de subsistance raisonnables (Rogé *et al.*, 2014).



Diversité des plantes et résilience

Les systèmes de production diversifiés, tels que les systèmes agroforestiers, sylvopastoraux et de polyculture, fournissent toutes sortes d'exemples sur la façon dont un agroécosystème complexe est en mesure de s'adapter au changement climatique et de résister à ses effets. Les systèmes agroforestiers sont des exemples de systèmes agricoles d'une grande complexité structurelle dont il est établi qu'ils protègent les cultures des grandes variations de température, maintenant ainsi les cultures très proches de leur condition optimale (Lin, 2011). Les systèmes caféiers plus ombragés ont démontré leur capacité de protéger les cultures contre la raréfaction des pluies et de l'eau du sol, la canopée des caféiers réduisant l'évaporation à partir du sol et améliorant l'infiltration d'eau dans le sol (Lin, 2007).

Les cultures intercalaires permettent aux paysans de produire plusieurs plantes à la fois tout en réduisant le risque au minimum (Vandermeer, 1989). Les polycultures ont une meilleure stabilité de leur rendement, et un moindre déclin de la productivité durant une sécheresse, que les monocultures. Natarajan et Willey (1986) ont examiné les effets de la sécheresse sur le rendement des polycultures au moyen d'un stress hydrique contrôlé sur cultures en intercalaire de sorgho et arachide, mil et arachide, et sorgho et mil. Toutes ces cultures intercalaires ont montré systématiquement un rendement supérieur, à cinq niveaux de disponibilité d'humidité, variant de 297 à 584 mm d'eau pour la totalité du cycle cultural. Il est très intéressant d'observer que la différence de rendement a augmenté avec le niveau de stress hydrique, et que plus le stress augmentait, plus la différence relative des productivités devenait marquée entre monocultures et polycultures (Natarajan et Willey, 1986).

Les systèmes sylvopastoraux intensifs (SSI) sont une forme durable d'agroforesterie pour l'élevage du bétail, où se combinent fourrages arbustifs à haute densité de plantation, arbres, palmiers, et pâtures améliorées. Ces systèmes permettent une forte densité de bétail et la production naturelle de lait et de viande grâce à un mode de pâture en rotation, faisant appel à des clôtures électriques et à un apport d'eau permanent pour les animaux. Sur l'exploitation El Hatico dans la Valle del Cauca, en Colombie, un SSI sur cinq étages comportant une couche herbagère, des buissons de *Leucaena*, des arbres de taille moyenne et une canopée d'arbres plus grands, la densité du bétail a été poussée à 4,3 vaches laitières par hectare et la production laitière a augmenté de 130 pour cent, en même temps que le recours aux engrais chimiques a complètement disparu durant les 18 dernières années. Sur les 40 années d'existence de El Hatico, l'année la plus sèche a été 2009, avec des précipitations inférieures de 44 pour cent à la moyenne historique. Malgré une réduction de 25 pour cent de la biomasse des pâtures, la production fourragère des arbres et des arbustes n'a subi aucune modification au cours de cette année, neutralisant les effets négatifs de la sécheresse sur l'ensemble du système. Pour répondre à cet aléa climatique extrême, l'exploitation a dû ajuster la densité du bétail et intensifier son apport de suppléments énergétiques. En dépit de quoi, sa production laitière 2009 a été une production record par rapport à l'ensemble de son histoire, avec une augmentation étonnante de 10 pour cent par rapport aux quatre années précédentes. Dans le même temps, les éleveurs dans d'autres parties du pays constataient sur leurs troupeaux de sévères déperditions de poids et une mortalité élevée sous l'effet de la faim et de la soif (Figure 3). La performance de production de l'exploitation El Hatico au cours de cette période exceptionnellement chaude et



sèche d'oscillation australe El Niño illustre le potentiel phénoménal du SSI comme stratégie d'intensification durable pour l'adaptation au changement climatique et l'atténuation de ses effets (Murgueitio *et al.*, 2011). La combinaison des avantages d'un microclimat favorable et d'une régulation hydrique, d'une biodiversité et de réserves de carbone améliorées permet à de tels systèmes de production diversifiés non seulement de fournir des biens et services environnementaux aux producteurs, mais encore d'augmenter leur résilience au changement climatique.

Figure 3. Réponse de systèmes pastoraux tropicaux à la sécheresse en Colombie



© Enrique Murgueitio

(A) Les pâtures hautement productives sous les tropiques ont besoin d'eau et d'azote; d'où leur grande vulnérabilité à la sécheresse, comme dans cet exemple des Llanos Orientales en Colombie.

(B) En revanche, les systèmes sylvopastoraux intensifs avec étage supérieur d'arbustes et d'arbres sont résilients, sans interruption de la disponibilité de fourrage pour les vaches, d'où une production laitière stable malgré de faibles précipitations.

Performance des agroécosystèmes diversifiés face à des événements climatiques extrêmes

Une enquête menée dans les paysages collinaires d'Amérique centrale après le passage de l'ouragan Mitch a montré que les agriculteurs qui avaient recours à des pratiques de diversification telles que plantes de couverture, intercalaires et agroforesterie ont subi moins de pertes que leurs voisins sous monoculture conventionnelle (Figure 4). L'enquête, menée par le mouvement *campesino-a-campesino*, a mobilisé 100 équipes de paysans et de techniciens pour effectuer des observations jumelées portant sur des indicateurs agroécologiques spécifiques, sur 1 804 exploitations voisines, tant conventionnelles que durables. Elle s'est étendue sur 24 départements et a couvert 360 communautés au Nicaragua, au Honduras et au Guatemala. Il a été observé que les parcelles sous gestion durable avaient de 20 à 40 pour cent de couche arable en plus, davantage d'humidité dans le sol et moins d'érosion, et avaient subi moins de pertes économiques que les parcelles voisines sous gestion conventionnelle (Holt-Giménez, 2002). De même, à Soconusco, dans le Chiapas, les systèmes caféiers montrant des niveaux élevés de complexité de leur végétation et de diversité des plantes ont subi moins de dégâts lors de l'ouragan Stan que des systèmes caféiers plus simplifiés (Philpott *et al.*, 2009). Quarante jours après que



L'ouragan Ike se soit abattu sur Cuba en 2008, des chercheurs ont mené une enquête de terrain dans les provinces de Holguín et de Las Tunas, concluant que les exploitations diversifiées avaient enduré des pertes de 50 pour cent, tandis que les monocultures voisines avaient subi des pertes de 90 ou même 100 pour cent (Figure 5). De même, les exploitations sous gestion agroécologique ont montré un retour plus rapide à la production (80 à 90 pour cent de récupération 40 jours après l'ouragan) que les exploitations sous monoculture (Rosset *et al.*, 2011).

Toutes les études ci-dessus mettent en évidence l'importance de renforcer la diversité végétale et la complexité des systèmes de production pour limiter leur vulnérabilité face aux événements climatiques extrêmes. Ces observations sont venues en renfort de la prise de conscience naissante

Figure 4. **Réaction aux dégâts des ouragans pour des monocultures et des exploitations diversifiées au Honduras**



© Miguel Altieri

(A) Suite à l'ouragan Mitch en Amérique centrale, les exploitations honduriennes de monoculture ont subi davantage de dégâts sous forme de glissements de terrain; (B) par comparaison avec les exploitations voisines biodiversifiées comportant systèmes agroforestiers, cultures sur lignes de niveau, plantes de couverture, etc.

Figure 5. **Une exploitation diversifiée à Sancti Spiritus, Cuba. On voit les rotations culture-pâturage et une matrice complexe de coupe-vent et haies multi-usages qui apportent une protection anti-ouragan**



© Fernando Funes-Monzote



du fait que la biodiversité fait partie intégrante de l'entretien du fonctionnement des écosystèmes et appellent l'attention sur l'utilité des stratégies de diversification des cultures des paysans traditionnels comme stratégie de première importance pour la résilience des agroécosystèmes (Altieri and Nicholls, 2013). Si le changement climatique n'est pas arrêté à la fin du siècle actuel, il peut devenir une menace pour les agroécosystèmes biodiversifiés eux-mêmes, si ceux-ci ne suivent pas un processus continu d'adaptation – ou même de transformation. Dans le long terme, l'agrobiodiversité gérée par les méthodes de l'agroécologie devra subir une sélection et une adaptation incessantes pour pouvoir faire face aux conditions climatiques à venir. Il est nécessaire d'exposer à l'environnement les espèces cultivées par les producteurs, en raison des importantes variations agroécologiques entre différentes zones agricoles. La résistance d'une plante à un stress environnemental (p. ex. la tolérance à la sécheresse) est essentiellement une caractéristique multi-génétique, dont le développement est favorisé au mieux par l'exposition à ce stress *in situ*. D'un autre côté, la sélection des espèces de plantes ou d'arbres à mettre en œuvre au sein des systèmes de production diversifiés suppose une analyse attentive des conditions climatiques à venir, certaines des espèces actuellement utilisées pouvant y être inadaptées, nécessitant l'introduction de variétés ou même d'espèces nouvelles (Kotschi, 2007).

GESTION DES SOLS ET RÉSILIENCE

Renforcement de la teneur des sols en matière organique

De nombreux paysans traditionnels et petits agriculteurs bio appliquent régulièrement des quantités importantes de matériaux organiques tels que fumiers d'animaux, composts, feuilles d'arbres, plantes de couverture et cultures de rotation qui laissent de grandes quantités de résidus, etc. C'est une stratégie centrale pour l'amélioration de la qualité des sols. La matière organique du sol (MOS) et sa gestion sont au cœur de la création de sols sains, abritant une forte activité biologique, et avec de bonnes caractéristiques physico-chimiques. Ce qui est extrêmement important du point de vue de la résilience est que la MOS améliore la capacité de rétention d'eau du sol, ce qui renforce la tolérance des cultures à la sécheresse, améliore l'infiltration et réduit le ruissellement, empêchant les particules du sol d'être emportées lors de pluies diluviennes. La MOS améliore également l'agrégation de la couche superficielle du sol, retenant davantage les particules du sol durant les pluies et les grands vents; les agrégats stables du sol résistent au déplacement par le vent ou l'eau (Magdoff et Weil, 2004).

Le plus souvent, un sol riche en matière organique contient des champignons mycorhiziens symbiotiques, tels que les champignons mycorhiziens arbusculaires (CMA), qui sont un élément clé des populations microbiennes agissant sur la croissance et la productivité des plantes. Les CMA sont importants pour l'agriculture durable parce qu'ils améliorent les échanges hydriques des plantes et, de ce fait, rendent plus résistantes à la sécheresse leurs plantes hôtes (Garg et Chandel, 2010). Les capacités de certaines associations plante-champignon de résister à la sécheresse sont d'un grand intérêt dans les zones affectées par les déficits hydriques, du fait des observations qui montrent que les plantes en symbiose avec les CMA, quand elles subissent un stress hydrique, ont une meilleure assimilation des nutriments et utilisent l'eau de manière plus efficiente, et que la conductivité hydraulique de leurs racines est améliorée.



La productivité des cultures, en zone aride, est fortement limitée par la disponibilité de l'eau dans le sol. La teneur en MOS (%MOS) est un indice fiable de la productivité des cultures dans les régions semi-arides, du fait que la MOS contribue à la croissance des plantes en augmentant la capacité du sol de stocker et de transporter l'eau et l'air, d'où une meilleure rétention d'eau dans le sol et donc une meilleure résistance des plantes à la sécheresse. Lors d'une étude des Pampas argentines semi-arides, les chercheurs ont démontré une corrélation, durant les années à faible disponibilité d'humidité, entre les rendements en blé et la capacité de rétention d'eau du sol ainsi que sa teneur en carbone organique total au niveau de la couche superficielle (0 à 20 cm). Le fait que les rendements en blé dépendent de la capacité de rétention d'eau du sol ainsi que sa teneur en carbone organique total est lié à l'effet positif de ces qualités du sol sur le volume d'eau disponible pour la plante. Une perte de 1 kg/ha de MOS a été corrélée avec une baisse du rendement en blé d'environ 40 kg/ha. De tels résultats démontrent l'importance du recours à des pratiques culturales qui augmentent la MOS et donc réduisent au minimum les pertes de carbone organique du sol en environnement semi-aride (Diaz-Zorita *et al.*, 1999).

Gestion de la couverture du sol

La protection du sol contre l'érosion et la dessiccation, et l'amélioration de sa teneur en humidité et de la circulation interne de l'eau, constituent également une stratégie fondamentale d'amélioration de la résilience des agroécosystèmes. Le paillage par cultures de couverture et l'utilisation d'engrais vert ont un potentiel agroécologique important, ces pratiques préservant les sols, améliorant leur écologie, stabilisant et augmentant le rendement des cultures, et contribuant à la conservation de l'eau. Le paillage de chaume arrête la dessiccation du sol en protégeant sa surface avec les résidus de récolte. En réduisant la vitesse du vent d'un facteur allant jusqu'à 99 pour cent, le paillage diminue de façon significative les pertes d'eau par évaporation. De plus, les résidus de plantes de couverture et d'adventices peuvent améliorer, par un facteur multiplicateur allant de 2 à 6 fois, la pénétration de l'eau et sa rétention face au ruissellement. Le *frijol tapado*, ou système de haricots sous couvert, remonte à l'antiquité et est un système de coupe et paillage commun sur les paysages collinaires d'Amérique centrale (Buckles *et al.*, 1998). Ce système d'agriculture migratoire permet de cultiver les haricots durant 3 à 5 mois par an, tirant parti des fortes précipitations et de l'humidité résiduelle préservée par le système de coupe/paillage après les pluies. La gestion du *frijol tapado* commence par le choix d'une terre appropriée, puis le défrichement de chemins d'accès à travers la végétation pour pouvoir procéder à la plantation. La plantation elle-même se fait à haute densité (25 à 40 kg de semences par hectare) et est suivie de la coupe de la végétation de jachère pour la faire tomber sur les semences de haricot. La culture en *frijol tapado* se fait en général à flanc de colline, de préférence face au soleil levant pour permettre aux plants de haricot de sécher rapidement le matin (ils sont vulnérables aux attaques de pourriture) et pour maximiser l'exposition à la lumière du soleil, celui-ci brillant le plus souvent en matinée alors que les après-midi sont plutôt pluvieux. Les paysans recherchent des terres avec un couvert d'herbes hautes ou de petits buissons; il faut qu'il y ait assez de végétation pour fournir un paillage qui recouvre entièrement le sol. Les zones à dominante herbeuse sont évitées, en raison de la repousse rapide qui va fortement concurrencer les haricots. Les champs sont ensuite abandonnés jusqu'à la récolte,



sans autre intervention. En principe, le paillage n'est pas trop épais – ce qui diminuerait la levée et la survie de la plante, et donc le rendement – tout en préservant l'humidité du sol et en le protégeant contre l'érosion. L'absence de brûlis et de façons culturales, et la présence d'un paillage consistant, évitent la germination et la croissance d'adventices. La période de jachère réduit l'incidence de pathogènes dans le sol, tandis que le paillage protège les plants de haricot contre les projections de particules de sol durant les pluies. Ce système convient bien aux écosystèmes fragiles des pentes collinaires. Le sol n'est pas bouleversé par des façons culturales et le paillage évite son érosion. De plus, le système racinaire naturel reste en place et la végétation repousse rapidement, prolongeant la protection du sol contre l'érosion et lui rendant sa fertilité (Buckles *et al.*, 1998).

Cherchant à reproduire le système du *frijol tapado* dans toute l'Amérique centrale tout en l'améliorant, plusieurs ONG poussent à l'utilisation de légumineuses à graines comme engrais vert, fournissant ainsi un engrais organique peu coûteux pour accumuler la matière organique (Altieri, 1999). Des centaines de paysans de la côte nord du Honduras obtiennent d'excellents résultats avec le pois mascate (*Mucuna pruriens*), avec notamment des rendements maïs d'environ 3 000 kg/ha, soit plus du double de la moyenne nationale, tout en bénéficiant par surcroît de la protection contre l'érosion, de l'élimination des adventices et de coûts de préparation du sol minimes. Le pois mascate produit près de 30 t/ha de biomasse par an, soit un apport de 90 à 100 kg/ha d'azote par an (Flores, 1989). Ce système réduit le stress hydrique du à la sécheresse parce que la couche de paillage laissée par *Mucuna* contribue à la rétention d'eau dans la profondeur du sol, d'où une bonne disponibilité des nutriments synchronisée avec les principales périodes d'assimilation de nutriments par la culture (Bunch, 1990).

Tirant parti de réseaux paysan-à-paysan bien implantés tels que le mouvement *campesino-a-campesino* au Nicaragua et ailleurs, la diffusion de cette technologie simple a été rapide. En une seule année, plus de 1 000 paysans ont récupéré des terres dégradées du bassin versant de San Juan au Nicaragua (Holt-Giménez, 1996). À Cantarranas, au Honduras, le passage massif au pois mascate a triplé les rendements maïs qui ont atteint 2 500 kg/ha, tandis que les besoins en main-d'œuvre pour le sarclage ont baissé de 75 pour cent. En Amérique centrale et au Mexique, ce sont environ 200 000 agriculteurs qui utilisent près de 14 sortes différentes d'engrais vert et de plantes de couverture (Bunch, 1990).

À ce jour, on compte plus de 125 000 paysans qui recourent aux engrais verts et aux plantes de couverture à Santa Catarina, au Brésil. Les petits paysans des collines ont modifié le système conventionnel du zéro labour en commençant par laisser les résidus de récolte à la surface du sol. Ils ont d'abord constaté la réduction de l'érosion du sol et de moindres fluctuations de l'humidité et de la température du sol, puis, par la suite, l'amélioration de la qualité du sol, la diminution de l'érosion et de la croissance des adventices, et l'augmentation de la performance des cultures, qui résultaient d'applications répétées de biomasse fraîche. Tous ces systèmes récents s'appuient sur des mélanges pour les plantes de couverture d'été comme d'hiver, laissant un épais couvert de paillage. Après un passage des plantes de couverture au rouleau, les plantes cultivées à graines traditionnelles (maïs, haricot, blé, oignon, tomate, etc.) sont directement semées ou plantées dans le paillage, où elles seront très peu gênées par des adventices durant leur croissance et atteignent des rendements acceptables (Petersen *et al.*, 1999). Lors du cycle cultural 2008-2009, marqué par une sécheresse sévère, les producteurs conventionnels de maïs



ont perdu en moyenne 50 pour cent de rendement, avec un niveau de productivité de 4 500 kg/ha. En revanche, les producteurs qui étaient passés au zéro labour n'ont vu leur rendement chuter que de 20 pour cent environ, confirmant que ces systèmes présentent une meilleure résilience que ceux qui recourent aux intrants agrochimiques (Altieri *et al.*, 2011).

COLLECTE DE L'EAU

Dans de nombreuses parties du monde, comme par exemple en Afrique sub-saharienne, 40 pour cent des terres agricoles sont situées dans des savanes semi-arides et sub-humides sèches qui sont de plus en plus fréquemment en proie à des manques d'eau. La plupart du temps il y a plus qu'assez d'eau au cours d'une année pour pouvoir produire des cultures. Le problème est que les précipitations sont concentrées sur 2 à 3 mois dans l'année, et/ou que de grandes quantités d'eau se perdent par ruissellement en surface, évaporation à partir du sol, ou percolation en profondeur. Le défi est de trouver le moyen de capter cette eau, de la mettre en réserve dans le sol et de la rendre disponible pour les cultures aux périodes de manque d'eau. Diverses méthodes de collecte des eaux de pluie et des eaux d'inondation ont été observées dans de nombreux pays en voie de développement (Reij *et al.*, 1996; Barrow, 1999).

Un système ancien de collecte de l'eau, appelé *zai*, est en train d'être redéployé au Mali et au Burkina Faso. Les *zai* sont des trous creusés par les paysans dans des sols souvent durs comme la pierre et stériles, et dans lesquels l'eau ne pourrait pénétrer sans ces trous. Ils font généralement 10 à 15 cm de profondeur et 20 à 30 cm de diamètre, et sont remplis de matière organique (Zougmore *et al.*, 2004). L'application de fumier dans les trous non seulement améliore la croissance des plantes, mais en même temps attire des termites qui vont amender le sol, creusant des tunnels et de ce fait améliorant sa structure, de sorte que l'eau peut mieux y pénétrer et y être retenue. La digestion de la matière organique par les termites augmente la disponibilité des nutriments pour les plantes. Dans la plupart des cas les paysans utilisent les *zai* pour la culture du mil, du sorgho ou des deux. Il arrive qu'ils y sèment des arbres directement, en même temps que la céréale et dans le même *zai*. Ils peuvent utiliser entre 9 000 et 18 000 trous par hectare, avec des applications de compost allant de 5,6 à 11 tonnes par hectare (Critchley *et al.*, 2004).

Au cours des années, des milliers de paysans de la région de Yatenga, au Burkina Faso, ont eu recours à cette technique améliorée localement pour récupérer des centaines d'hectares de terres dégradées. L'intérêt que portent les paysans aux *zai* s'intensifie au fur et à mesure qu'ils se rendent compte que les trous sont très efficaces pour collecter et concentrer l'eau de ruissellement et qu'ils ne nécessitent que de petites quantités de fumier et de compost. L'utilisation des *zai* permet aux paysans d'agrandir leur base de ressources et d'améliorer la sécurité alimentaire de leur ménage (Reij, 1991). Les rendements obtenus sur les champs gérés sous le système de *zai* sont constamment plus élevés que des champs sans *zai* (870 à 1 590 kg/ha contre 500 à 800 kg/ha en moyenne).

Au Niger, les trous de semis traditionnels ont été améliorés pour en faire des réservoirs de collecte d'eau, reprenant un élément d'une technologie d'amélioration du sol traditionnelle d'autres régions du pays et au Burkina Faso. Il a été rapporté que des villages burkinabé qui ont adopté des techniques de récupération des terres, telles que cette approche consistant à creuser



des trous dans la carapace du sol et à les remplir de fumier et d'eau, ont vu leurs rendements augmenter de 50 pour cent. En revanche, les villages qui ne sont pas passés à ces techniques n'ont réalisé que des gains de rendement beaucoup plus réduits à la suite d'augmentations des précipitations (Critchley, 1989). Au nord du Nigéria, de petits trous creusés dans les sols sableux sont remplis de fumier pour préserver l'humidité des premières pluies pour les plants d'arbres qui y ont été transplantés

UN CADRE CONCEPTUEL D'ÉVALUATION DE LA RÉSILIENCE DES SYSTÈMES DE PRODUCTION

La résilience est définie comme la capacité d'un système social ou écologique à absorber les perturbations tout en préservant sa structure organisationnelle et sa productivité, la capacité d'auto-organisation, et la capacité de s'adapter au stress et aux changements qui suivent une perturbation (Cabell et Oelofse, 2012). La résilience est le produit de la dynamique interne d'un système socio-écologique, dont les éléments constitutifs sont intégrés et interdépendants (Adger, 2000). On peut l'envisager comme la propension d'un système à préserver sa structure organisationnelle et sa productivité suite à une perturbation. Ainsi, un agroécosystème 'résilient' doit être en mesure de fournir une production alimentaire tandis qu'il est soumis à une sévère sécheresse ou à des précipitations excessives. À l'inverse, la vulnérabilité peut se définir comme la possibilité de perte de biodiversité, de sol, d'eau ou de productivité par un écosystème confronté à un choc ou une perturbation extérieurs. La vulnérabilité désigne le degré auquel un système est sensible, et incapable de s'adapter, aux effets adverses de la variabilité et des extrêmes climatiques. Elle dénote l'état de sensibilité du système aux dommages résultant de l'exposition aux stress associés au changement environnemental et de sa propre incapacité à s'adapter (Folke, 2006).

Ainsi, le risque qui en résulte s'exprime en fonction de la menace, de la vulnérabilité et de la capacité de réaction selon l'équation ci-dessous (Nicholls et Altieri, 2013):

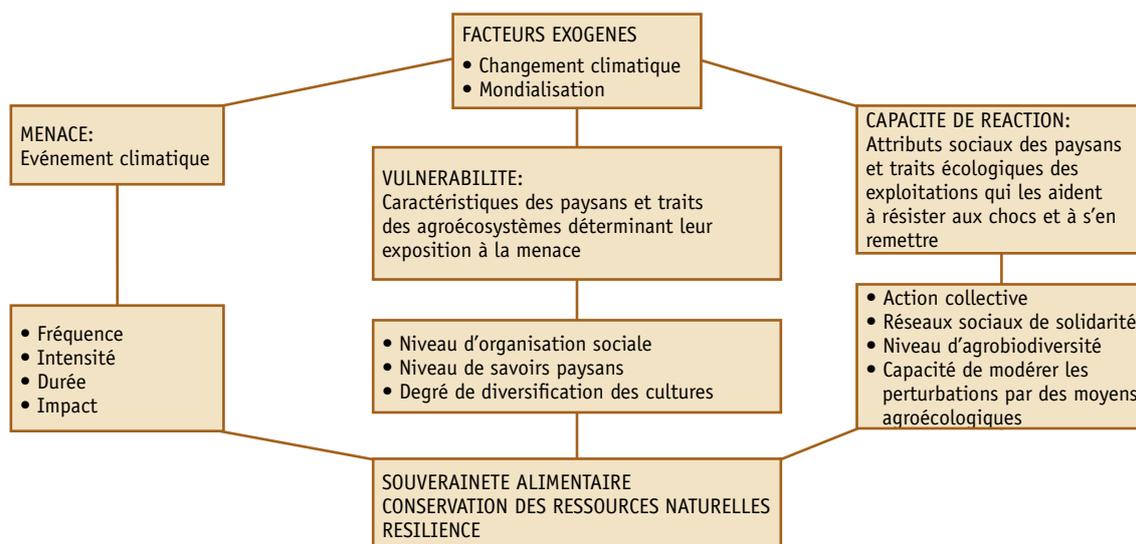
$$\text{Risque} = \frac{\text{Vulnérabilité} * \text{Menace}}{\text{Capacité de réaction}}$$

- » où le **Risque** est défini comme la probabilité pour le système considéré de subir un certain niveau d'impact (négatif) du fait d'un phénomène climatique.
- » La **Vulnérabilité** est déterminée par les conditions biophysiques de l'exploitation et les conditions socio-économiques des exploitants, qui aggravent ou réduisent l'exposition à la menace.
- » La **Menace** décrit l'intensité, la fréquence, la durée et le degré d'impact de l'événement climatique (p. ex. pertes de rendement occasionnées par une tempête ou une sécheresse).
- » La **Capacité de réaction** est la capacité (ou son absence) des systèmes de production et des agriculteurs de résister à la menace et de s'en remettre en fonction du niveau d'organisation sociale et des caractéristiques agroécologiques (c.-à-d. la diversité des cultures) des exploitations.



En résumé, pour qu'un événement soit considéré comme un risque, il faut qu'il y ait dans une région spécifique une communauté qui y soit vulnérable. Pour qu'il devienne une menace, il doit y avoir une forte probabilité qu'il se produise dans cette région, et le fait que la menace soit, ou non, dévastatrice va dépendre de la magnitude de l'événement et du degré d'exposition et de vulnérabilité de la communauté. Cette vulnérabilité peut être réduite par la 'capacité de réaction', définie comme les caractéristiques agroécologiques des exploitations et les stratégies de gestion mises en œuvre par les agriculteurs pour réduire les risques climatiques, résister à de tels événements et s'en remettre. En conséquence, l'adaptation désigne les ajustements faits par les agriculteurs pour réduire les risques. La capacité des agriculteurs à s'adapter est basée sur les réserves individuelles ou collectives de «capital social» comprenant des attributs tels que savoirs et savoir-faire traditionnels, niveaux d'organisation sociale et réseaux de solidarité, etc. Comme on l'observe sur la Figure 6, le niveau de vulnérabilité d'une exploitation est déterminé par son type d'infrastructure agroécologique (niveau de diversité des paysages, des cultures et des géotypes, qualité et couverture du sol, etc.) et par les caractéristiques sociales de la famille ou de la communauté (niveaux d'organisation et de réseautage, autosuffisance alimentaire, etc.) La vulnérabilité peut être réduite par la capacité de réaction des exploitants et de leurs exploitations, laquelle à son tour détermine leur capacité à résister aux événements et à retrouver fonctionnement et infrastructures.

Figure 6. **Caractéristiques socioécologiques déterminant la vulnérabilité et la capacité de réaction des agriculteurs en vue d'une meilleure résilience de leurs systèmes et communautés**



Source: Nicholls et al., 2013



TENTATIVES DE MÉTHODOLOGIES D'ÉVALUATION DE LA RÉSILIENCE

En 2011, un groupe d'agroécologistes latino-américains en relation avec REDAGRES (Red Iberoamericana de Agroecología para el desarrollo de Sistemas Agrícolas Resilientes al Cambio Climático)¹ a entrepris une enquête sur deux ans auprès de petits systèmes agricoles d'une sélection de régions à travers sept pays dans le but d'identifier des systèmes ayant été confrontés à des événements climatiques récemment ou dans le passé, et de comprendre les caractéristiques agroécologiques qui avaient permis à ces systèmes de résister et/ou de se remettre face aux sécheresses, tempêtes, inondations ou ouragans. Après identification des principes et mécanismes à la source de la résilience, ceux-ci ont été transmis à d'autres paysans de la région via des journées au champ où les producteurs peuvent visiter les exploitations résilientes et discuter entre eux des caractéristiques qui les ont rendues plus résilientes, et des moyens de les reproduire sur d'autres exploitations. Des visites croisées ont également été organisées, les paysans résilients visitant d'autres communautés ou régions pour partager leurs expériences, systèmes de gestion et stratégies de résilience socio-écologique. Les chercheurs, avec un groupe de paysans sélectionnés, ont élaboré un manuel composé de deux sections principales: (i) une méthodologie simple pourvue d'indicateurs, qui permet aux exploitants de déterminer si leur exploitation est en mesure d'affronter un événement climatique grave (sécheresse ou ouragan) et de savoir quoi faire pour en renforcer la résilience; et (ii) une description des grands principes agroécologiques et pratiques dont les familles paysannes peuvent faire usage, individuellement ou collectivement (à l'échelon de la communauté) pour renforcer l'adaptabilité des systèmes de production face au changement climatique (Nicholls *et al.*, 2013).

Sur la base du cadre conceptuel de résilience indiqué ci-dessus, les équipes ont entamé une recherche socio-écologique dans les systèmes de production sélectionnés de chaque pays, et mis au point une méthodologie pour comprendre les caractéristiques agroécologiques de ces systèmes ainsi que les stratégies qui avaient permis aux paysans de résister aux sécheresses, tempêtes, inondations ou ouragans, et/ou de s'en remettre (Nicholls et Altieri, 2013). Pour illustrer l'application de ces méthodologies, nous présentons des données tirées de deux études de cas menées à: (i) Carmen del Viboral, Antioquia, Colombie; et (ii) Mixteca Alta, Oaxaca, Mexique.

Carmen del Viboral

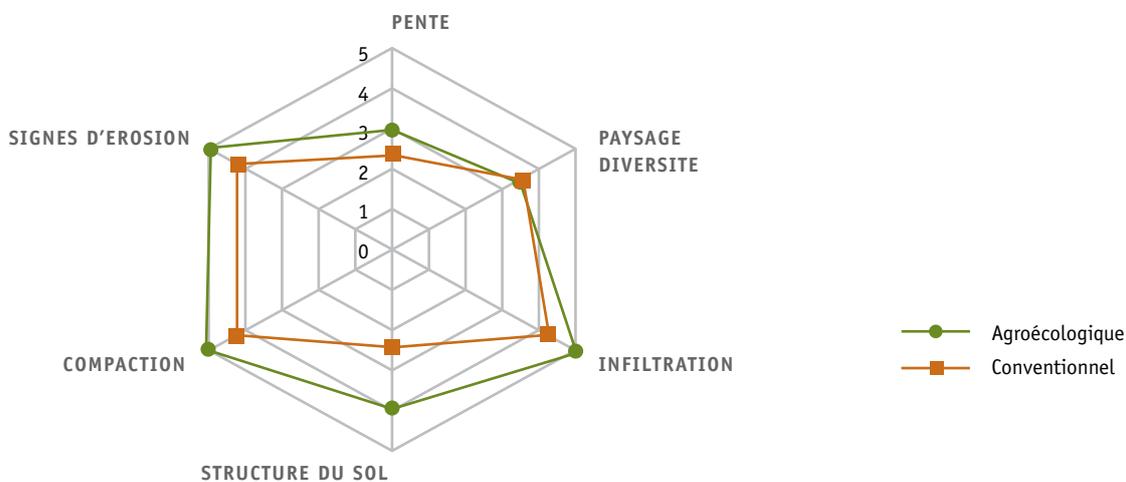
Dans cette étude, les chercheurs ont évalué la résilience de six exploitations (trois sous gestions conventionnelle, avec produits agrochimiques et sans pratiques de conservation des sols, et trois exploitations agroécologiques, diversifiées, avec pratiques de conservation du sol) présentant des conditions comparables de pente et d'exposition (Henao, 2013).

L'équipe a mis au point six indicateurs d'estimation de la vulnérabilité (p. ex. pente, diversité

¹ www.redagres.org

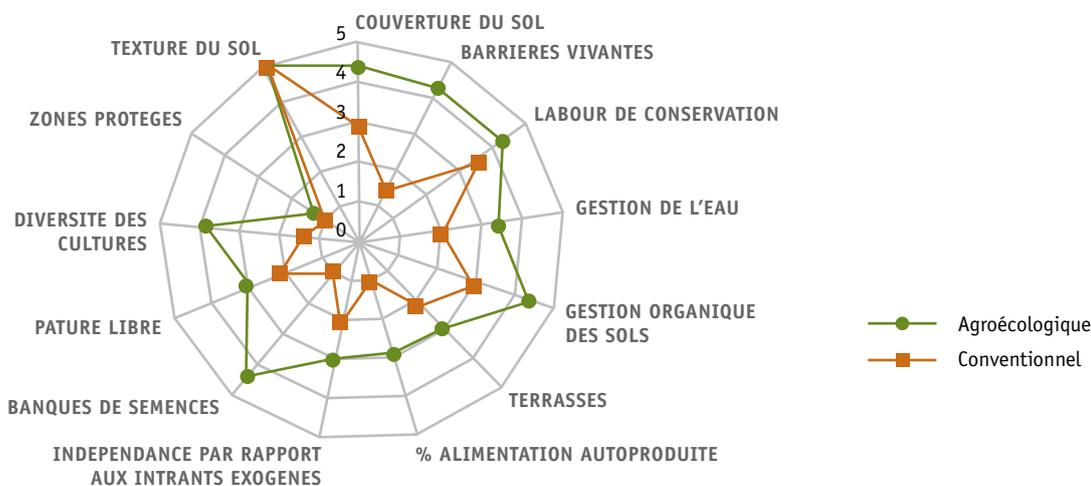


Figure 7. Valeurs de 'vulnérabilité' d'exploitations conventionnelles (en rouge) comparées à des exploitations agroécologiques (en vert), Antioquia, Colombie



Source: Henao, 2013

Figure 8. Valeurs de 'capacité de réponse' d'exploitations conventionnelles (en rouge) comparées à des exploitations agroécologiques (en vert), Antioquia, Colombie

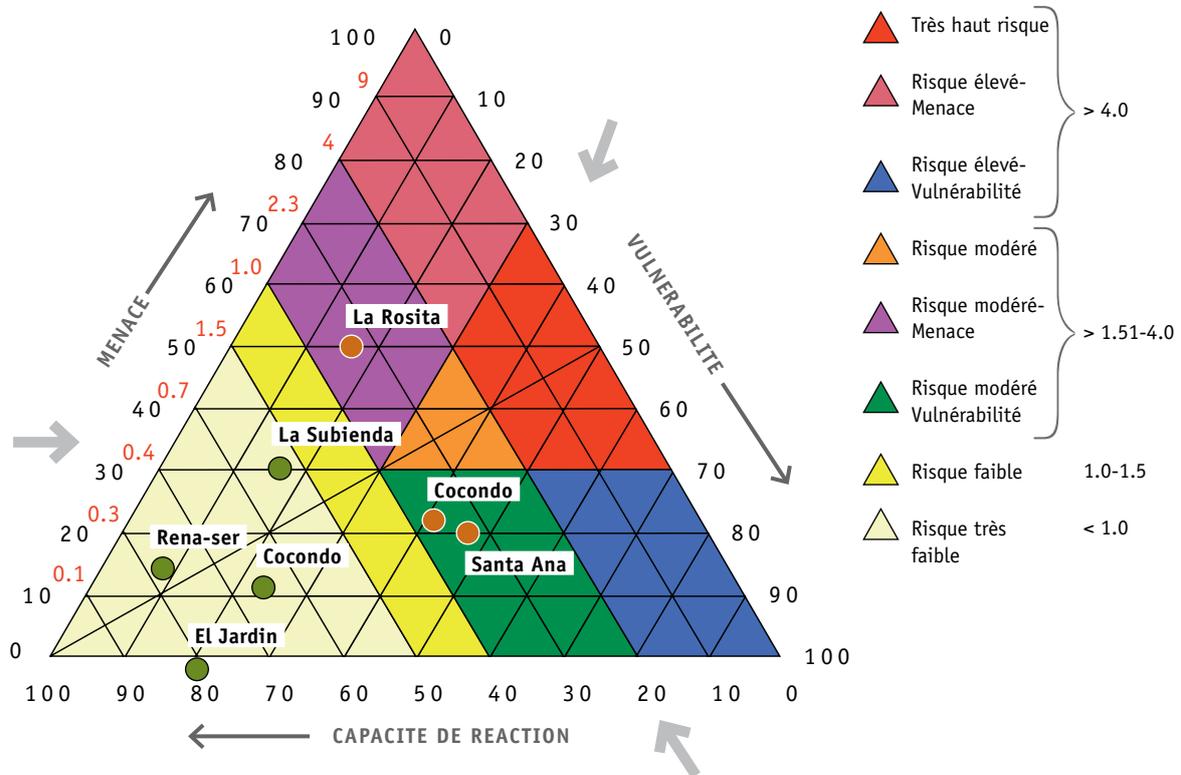


Source: Henao, 2013

du paysage, susceptibilité du sol à l'érosion) et de la capacité de réaction (p. ex. pratiques de conservation du sol, pratiques de gestion de l'eau, niveau de diversification des cultures, autosuffisance alimentaire), qui ont été évalués sur les trois exploitations agroécologiques et sur les trois exploitations conventionnelles. En donnant des valeurs chiffrées (de 1 à 5, 1 exprimant la plus forte vulnérabilité) à ces indicateurs, il a été possible de comparer ces exploitations via un diagramme en amibe (Figure 7). Il est clair que les exploitations agroécologiques (en vert) étaient moins vulnérables que les conventionnelles (en rouge). L'équipe a également



Figure 9. Triangle de risque illustrant la vulnérabilité et la capacité de réaction d'exploitations conventionnelles (en orange) comparées à des exploitations agroécologiques (en vert), Antioquia, Colombie



Source: Henao, 2013

appliqué 13 indicateurs d'évaluation de la capacité de réaction des agriculteurs, et là encore les exploitations agroécologiques (en vert) montraient clairement une meilleure capacité de réaction que les exploitations conventionnelles (en rouge) (Figure 8). En appliquant la méthodologie et en disposant les valeurs de risque en triangle, il apparaît clairement que les exploitations agroécologiques (points verts de la Figure 9) démontraient une faible vulnérabilité due à leur capacité de réaction élevée, par rapport aux exploitations conventionnelles (points orange de la Figure 9) avec une vulnérabilité supérieure et une capacité de réaction inférieure.

Mixteca Alta

Cette étude conduite à Oaxaca, Mexique, décrit la façon dont de petits paysans se sont adaptés et préparés aux défis climatiques du passé, et également ce qu'ils font actuellement face à la montée récente des températures et de l'intensité des précipitations ainsi qu'au retard grandissant de la saison des pluies (Rogé *et al.*, 2014). Les agriculteurs ont identifié 14 indicateurs permettant d'évaluer la capacité d'adaptation de quatre agroécosystèmes situés dans les communautés de Zaragoza et d'El Rosario à partir du schéma de base de la Figure 10. Les chercheurs ont compilé les évaluations d'agroécosystèmes produites par chaque communauté



en attribuant des notes chiffrées, 0 pour marginal, 1 pour acceptable, 2 pour optimal. Les agriculteurs ont analysé les résultats en traçant des diagrammes de barres à partir des notes compilées pour leur communauté. Ils ont été ensuite incités à analyser en groupe les résultats de leurs évaluations sur la base des questions qui suivent:

- » Comment obtenir davantage de smileys (c.-à-d. la condition optimale) dans les catégories paysage, gestion par l'exploitant, et qualité du sol?
- » Comment conserver les smileys (c.-à-d. la condition optimale) que vous avez déjà dans les catégories paysage, gestion par l'exploitant, et qualité du sol?

Au niveau du paysage, les paysans de Zaragoza ont observé que les haies de végétation et la végétation pérenne multi-usages atténuent les effets de l'exposition aux événements climatiques extrêmes. De même, les paysans de Coxcaltepec ont reconnu que les paysages hétérogènes et boisés protégeaient les champs en amenant la pluie, en retenant l'eau du sol, en accumulant la matière organique du sol et en maîtrisant les insectes ravageurs. Les participants d'El Rosario ont émis l'observation que les tranchées en courbes de niveau capturaient le sol et l'eau, et qu'en leur imprimant une légère pente on leur évitait de s'inonder et de se rompre lors de précipitations diluviennes.

À l'échelon du champ, les indicateurs de la gestion par l'exploitant incluaient l'importance de la diversité intraspécifique et interspécifique des cultures pour la stabilisation des rendements

Figure 10. **Formulaires utilisés par les paysans pour évaluer quatre écosystèmes de chaque communauté de Zaragoza et El Rosario, sur la base des 14 indicateurs élaborés localement**

EQUIPE: _____ COMMUNAUTÉ: _____

SYSTÈME DE PRODUCTION: _____

CATÉGORIE	INDICATEUR	MARGINAL	ACCEPTABLE	OPTIMAL
Paysage	Composition du territoire			
	Coupe-vent			
	Emplacement des champs			
	Conservation des sols			
Gestion par l'exploitant	Rotation des cultures			
	Variétés cultivées			
	Polyculture			
	Amendements du sol			
	Façons culturales			
Qualité des sols	Végétation spontanée			
	Productivité des sols			
	Matière organique du sol			
	Profondeur du sol			
	Texture du sol			

Source: Rogé et al., 2014



d'ensemble, étant donné les variations d'année en année de la performance des cultures. L'indicateur des «amendements du sol» vient de témoignages de paysans selon lesquels les engrais synthétiques n'amélioreraient les rendements que si les pluies étaient favorables; en année de sécheresse, ces engrais étaient inefficaces et même «brûlaient» les récoltes. Les participants de Coxcaltepec ont recommandé la substitution aux engrais de synthèse de divers amendements produits localement, tels que fumier d'animaux, turricules de vers, humus des forêts et urine humaine.

Les paysans ont également observé que la qualité du sol influe sur l'impact de la variabilité climatique sur les agroécosystèmes. Dans les trois communautés, on a fait la relation entre rétention d'humidité dans le sol et texture/profondeur du sol. De façon générale, les sols argileux ont été considérés comme les plus productifs en année de sécheresse, tout en étant difficiles à cultiver en années humides. En revanche, de l'avis des paysans, les sols sableux sont les plus aisés à cultiver en année humide, mais également les moins productifs. Les paysans ont estimé que les sols profonds, définis ainsi en fonction de la profondeur de pénétration de la charrue égyptienne, sont les plus productifs tant en année humide qu'en année sèche.

Les évaluations de résilience menées à ce jour par le groupe REDAGRES conduisent à penser que des stratégies agroécologiques qui renforcent la résilience des systèmes de production sont une condition nécessaire, mais non suffisante de leur durabilité. La capacité des groupes ou des communautés à s'adapter face au stress environnemental – capacité qui détermine leur résilience sociale – doit aller de pair avec leur résilience écologique. Même si l'étude REDAGRES s'intéresse principalement aux paramètres biophysiques, le groupe est conscient qu'une société rurale, pour être résiliente, doit de façon générale démontrer sa capacité à absorber les perturbations en utilisant des méthodes agroécologiques qui ont été adoptées et disséminées au moyen de l'auto-organisation et de l'action collective. La réduction de la vulnérabilité sociale grâce à l'extension et à la consolidation des réseaux d'interaction sociale, tant localement qu'à l'échelle régionale, peut contribuer à améliorer la résilience agroécosystémique. Comme l'exprime la formule définissant le risque, la vulnérabilité des communautés paysannes dépend du degré de développement de leur capital naturel et social, qui va déterminer si les paysans et leurs systèmes sont plus ou moins vulnérables face aux chocs climatiques. La capacité d'adaptation renvoie au jeu des préconditions sociales et agroécologiques qui mettent des individus ou des groupes, et leurs exploitations, en position de réagir au changement climatique de façon résiliente. La capacité de réagir aux changements des conditions environnementales est présente à différents degrés dans toute communauté, mais rien n'indique que toutes leurs réactions soient durables. La difficulté est de déterminer lesquelles le sont, de façon à les diffuser en vue d'une réelle diminution de la vulnérabilité. Une façon effective de renforcer la capacité de réaction des communautés est de mettre en place des mécanismes de dissémination et de déploiement des pratiques agroécologiques permettant aux paysans de résister aux événements climatiques et de s'en remettre. Dès lors, les stratégies d'organisation sociale (réseaux de solidarité, échanges alimentaires, etc.) mises en œuvre collectivement par les paysans pour faire face aux circonstances difficiles résultant de tels événements sont un composant clé de la résilience.



CONCLUSIONS

Il ne fait aucun doute que les secteurs agricoles de tous les pays devront faire face au changement climatique sous une forme ou sous une autre, et que, de ce fait, l'adaptation est un impératif. Il est essentiel de prendre des mesures de soutien aux paysans et aux ménages agricoles en vue de leur adaptation tant à la menace de variabilité climatique qu'aux défis que va poser le changement climatique en termes d'opportunités de moyens d'existence à l'avenir.

Le lancement de la Global Alliance for Climate Smart Agriculture ² lors du récent Sommet sur le climat, tenu à New York en septembre 2014, signale la prise de conscience de cet impératif. Cependant, il subsiste des incertitudes sur les mesures spécifiques à cibler, et de nombreux messages émis par ce processus s'articulent autour de progrès en productivité durable et en résilience au moyen d'innovations telles que l'identification et la mise au point de matériel génétique adaptable au climat pour l'amélioration des cultures, avec très peu d'attention à l'agriculture traditionnelle ou aux approches basées sur l'agroécologie.

On peut le regretter, compte tenu du fait que les systèmes de production traditionnels constituent autant de réservoirs pour des savoirs d'une grande richesse, dont toute une gamme de principes et de mesures susceptibles d'aider les systèmes agricoles modernes à devenir plus résilients face aux extrêmes climatiques (Altieri et Toledo, 2011). Nombre de ces stratégies agroécologiques (reprises par le Tableau 1) peuvent être mises en œuvre à l'échelle de l'exploitation pour en réduire les vulnérabilités face à la variabilité climatique. La littérature suggère que les agroécosystèmes seront plus résilients s'ils s'intègrent dans une matrice complexe de paysages, tout en présentant des systèmes de culture génétiquement hétérogènes et diversifiés, avec des sols gérés en vue d'une haute teneur en matière organique et utilisant des techniques de conservation de l'eau.

Compte tenu de la résilience des systèmes diversifiés de petites exploitations, il est urgent d'arriver à une compréhension des caractéristiques agroécologiques des agroécosystèmes traditionnels, dans la mesure où ils peuvent servir de fondation à la conception de systèmes agricoles résilients au changement climatique (Swiderska *et al.*, 2011). Une première étape fondamentale est de comprendre les caractéristiques agroécologiques des systèmes de production traditionnels et des autres systèmes agroécologiques qui ont résisté aux épreuves du temps (Dewalt, 1994). La question clé étant celle de savoir quels sont les principes et les mécanismes qui ont permis à ces systèmes de résister aux sécheresses, tempêtes, inondations ou ouragans, et/ou de s'en remettre. L'analyse de ces mécanismes peut se faire en utilisant les méthodologies, décrites dans le présent chapitre, d'évaluation de la résilience socioécologique des systèmes de production.

La seconde étape, dont l'urgence se fait de plus en plus sentir, est de disséminer via les réseaux paysan-à-paysan, en direction des autres agriculteurs dont la vulnérabilité demande à être réduite, les principes et pratiques de résilience ainsi isolés. Il sera également crucial de diffuser les résultats des études scientifiques qui illustrent l'efficacité des pratiques agroécologiques pour renforcer la résilience des agroécosystèmes face à des événements climatiques extrêmes

² www.un.org/climatechange/summit/wp-content/uploads/sites/2/2014/09/AGRICULTURE-Action-Plan.pdf



Tableau 1. Pratiques agroécologiques et leur potentiel d'amélioration de la résilience au stress climatique par divers effets sur la qualité du sol et la conservation de l'eau

	ACCUMULATION DE LA MATIÈRE ORGANIQUE DU SOL	RECYCLAGE DES NUTRIMENTS	AUGMENTATION DE LA COUVERTURE DU SOL	RÉDUCTION DE L'ÉVAPOTRANSPIRATION D'EAU	RÉDUCTION DU RUISSELLEMENT	AUGMENTATION DE LA CAPACITÉ DE RÉTENTION D'EAU	AUGMENTATION DE L'INFILTRATION	AMÉLIORATION DU MICROCLIMAT	RÉDUCTION DE LA COMPACTION DU SOL	RÉDUCTION DE L'ÉROSION DU SOL	AUGMENTATION DE LA RÉGULATION HYDROLOGIQUE	AUGMENTATION DE L'EFFICIENCE DE CONSOMMATION D'EAU	AUGMENTATION DES RÉSEAUX MYCORHIZIENS
DIVERSIFICATION													
Cultures mixtes ou intercalaires			✓	✓	✓			✓	✓	✓		✓	
Agroforesterie	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	
Systèmes sylvopastoraux intensifs	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Rotation des cultures	✓	✓	✓		✓		✓		✓	✓		✓	
Mélanges de variétés locales			✓									✓	
GESTION DES SOLS													
Cultures de couverture	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓		
Engrais verts	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓		✓	✓
Paillage													
Application de compost	✓					✓							✓
Agriculture de conservation (bio et zéro labour)			✓	✓	✓		✓		✓	✓		✓	
CONSERVATION DES SOLS													
Cultures en courbes de niveau					✓		✓		✓	✓	✓		
Bandes herbeuses – barrières vivantes			✓		✓		✓			✓	✓		
Terrasses					✓		✓			✓	✓		
Vérification des barrages le long des tranchées					✓		✓			✓	✓		

(sècheresses, ouragans, etc.). L'efficacité de la dissémination des technologies agroécologiques sera un déterminant important du degré et de la qualité de l'adaptation des agriculteurs au changement climatique. La dissémination en direction des paysans des communautés voisines ou de régions peu éloignées pourra être entreprise au moyen de journées au champ, visites croisées, brefs séminaires et formations centrés sur les méthodes explicatives d'évaluation du degré de résilience de chaque exploitation et d'information sur les moyens d'améliorer



la résistance tant aux sécheresses qu'aux fortes tempêtes. La méthodologie *campesino-a-campesino* utilisée par des milliers de paysans d'Amérique centrale et de Cuba consiste en un mécanisme de transferts et d'échanges horizontaux d'information, et est peut-être l'approche la plus viable pour la diffusion de stratégies adaptatives basées sur l'agroécologie (Holt-Giménez, 1996; Rosset *et al.*, 2011).

La recherche se concentre essentiellement sur la résilience écologique des agroécosystèmes, mais on évoque très peu la résilience sociale des communautés rurales qui gèrent ces agroécosystèmes. La capacité des groupes ou des communautés à s'adapter face au stress externe, social, politique ou environnemental, doit aller de pair avec leur résilience écologique. Une société rurale, pour être résiliente, doit de façon générale démontrer sa capacité à absorber les perturbations en utilisant des méthodes agroécologiques qui ont été adoptées et disséminées au moyen de l'auto-organisation et de l'action collective (Tompkins and Adger, 2004). La réduction de la vulnérabilité sociale grâce à l'extension et à la consolidation des réseaux d'interaction sociale, tant localement qu'à l'échelle régionale, peut contribuer à améliorer la résilience agroécosystémique. La vulnérabilité des communautés paysannes dépend du degré de développement de leur capital naturel et social, qui va déterminer si les paysans et leurs systèmes sont plus ou moins vulnérables face aux chocs climatiques (Nicholls *et al.*, 2013). La plupart des communautés traditionnelles continuent d'entretenir un ensemble de préconditions sociales et agroécologiques qui permet à leurs exploitations de réagir de façon résiliente au changement climatique.

En recherchant l'adaptativité dans le cadre logique de l'agroécologie, non seulement les moyens d'existence de plus de 1,5 milliards de petits paysans vont être préservés, mais encore nombre de leurs systèmes vont perdurer pour servir d'exemples de durabilité, dont le monde doit impérativement tirer les leçons.



RÉFÉRENCES

- Adger, W.M.** 2000. Social and ecological resilience: are they related. *Prog. Hum. Geogr.*, 24: 347-364.
- Altieri, M.A.** 1999. Applying agroecology to enhance productivity of peasant farming systems in Latin America. *Environment, Development and Sustainability*, 1: 197-217.
- Altieri, M.A.** 2002. Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 93: 1-24.
- Altieri, M.A. & Koohafkan, P.** 2008. *Enduring farms: climate change, smallholders and traditional farming communities*. Environment and Development Series 6. Penang, Malaisie, Third World Network.
- Altieri, M.A. & Koohafkan, P.** 2013. Strengthening resilience of farming systems: A key prerequisite for sustainable agricultural production. In U. Hoffman, ed. *UNCTAD Trade and Environment Review 2013: Wake up before it is too late*. Publication des Nations Unies ISSN: 1810-5432.
- Altieri, M.A., Lana, M.A., Bittencourt, H.V., Kielling, A.S., Comin, J.J & Lovato, P.E.** 2011. Enhancing Crop Productivity via Weed Suppression in Organic No-Till Cropping Systems in Santa Catarina, Brazil. *Journal of Sustainable Agriculture*, 35: 855-869.
- Altieri, M.A. & Nicholls, C.I.** 2004. *Biodiversity and pest management in agroecosystems*. 2nd Edition. New York, USA, Haworth Press.
- Altieri, M.A & Nicholls, C.I.** 2013. The adaptation and mitigation potential of traditional agriculture in a changing climate. *Climatic Change*, DOI 10.1007/s10584-013-0909-y.
- 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: 587-612.
- Armillas, P.** 1971. Gardens on swamps. *Science*, 174: 653-656.
- Barrow, C.J.** 1999. *Alternative irrigation: the promise of runoff agriculture*. Londres, Earthscan Publications, Ltd.
- Buckles, D., Triomphe, B. & Sain, G.** 1998. *Cover crops in hillside agriculture: farmer innovation with Mucuna*. Ottawa, Centre de recherches pour le développement international.
- Bunch, R.** 1990. *Low-input soil restoration in Honduras: the Cantarranas farmer-to-farmer extension project*. Sustainable Agriculture Gatekeeper Series SA23. Londres, Institut international pour l'environnement et le développement (IIED).
- Cabell, J.F. & Oelofse, M.** 2012. An indicator framework for assessing agroecosystem resilience. *Ecology and Society*, 17(1): 18.
- Critchley, W.R.S.** 1989. Building on a tradition of rainwater harvesting. *Appropriate Technology*, 16(2): 10-12.
- Critchley, W.R.S., Reij, C. & Willcocks, T.J.** 2004. Indigenous soil and water conservation: a review of the state of knowledge and prospects for building on traditions. *Land Degradation and Rehabilitation*, 5: 293-314.
- Denevan, W.M.** 1995. Prehistoric agricultural methods as models for sustainability. *Advanced Plant Pathology*, 11: 21-43.
- De Schutter, O.** 2011. *Agroecology and the Right to Food*. Rapport présenté au Conseil des droits de l'homme des Nations Unies en sa 16ème session, [A/HRC/16/49] le 8 mars 2011.
- Dewalt, B.R.** 1994. Using indigenous knowledge to improve agriculture and natural resource management. *Human Organization*, 5: 23-51.
- Diaz-Zorita, M., Buschiazzi, D.E. & Peineman, N.** 1999. Soil Organic Matter and Wheat Productivity in the Semiarid Argentine Pampas. *Agronomy Journal*, 91: 276-279.



- Erickson, C.L. & Chandler, K.L.** 1989. Raised fields and sustainable agriculture in Lake Titicaca Basin of Peru. In J.O. Browder, ed. *Fragile lands of Latin America*, pp 230-243. Boulder, CO, USA, Westview Press.
- Flores, M.** 1989. Velvetbeans: an alternative to improve small farmers' agriculture. *ILEIA Newsletter*, 5: 8-9.
- Folke, C.** 2006. Resilience: the emergence of a perspective for social ecological systems analyses. *Global Environmental Change*, 16: 253-267.
- Francis, C.A.** 1986. *Multiple Cropping Systems*. New York, USA, MacMillan.
- Garg, N. & Chandel, S.** 2010. Arbuscular mycorrhizal networks: process and functions. *Agronomy for Sustainable Development*, 30: 581-599.
- Henao, S.A.** 2013. Propuesta metodológica de medición de la resiliencia agroecológica en sistemas socio-ecológicos: un estudio de caso en Los Andes Colombianos. *Agroecología*, 8(1): 85-91.
- Holt-Giménez, E.** 1996. *The campesino a campesino movement: farmer-led, sustainable agriculture in Central America and Mexico*. Food First Development Report No 10. Oakland, CA, USA, Institute of Food and Development Policy.
- Holt-Giménez, E.** 2002. Measuring farmers' agroecological resistance after Hurricane Mitch in Nicaragua: A case study in participatory, sustainable land management impact monitoring. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 93: 87-105.
- IPCC.** 2014. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Contribution du Groupe de travail II au Cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Cambridge, UK, Cambridge University Press.
- Kahn, Z.R., Ampong-Nyarko, K., Hassanali, A. & Kimani, S.** 1998. Intercropping increases parasitism of pests. *Nature*, 388: 631-632.
- Koohafkan, P. & Altieri, M.A.** 2010. *Globally important agricultural heritage systems: a legacy for the future*. Rome, FAO.
- Kotschi, J.** 2007. Agricultural biodiversity is essential for adapting to climate change. *GAIA*, 16: 98-101.
- Lin, B.B.** 2007. Agroforestry management as adaptive strategy against potential microclimate extremes in coffee agriculture. *Agricultural and Forest Meteorology*, 144: 85-94.
- Lin, B.B.** 2011. Resilience in agriculture through crop diversification: adaptive management for environmental change. *BioScience*, 61: 183-193.
- Loreau, M., Naeem, S., Inchausti, P., Bengtsson, J., Grime, J.P., Hector, A., Hooper, D.U., Huston, M.A., Raffaelli, D., Schmid, B., Tilman, D. & Wardle, D.A.** 2001. Biodiversity and ecosystem functioning: Current knowledge and future challenges. *Science*, 294: 804-808.
- Magdoff, F. & Weil, R.** 2004. Soil organic matter management strategies. In F. Magdoff & R. Weil, eds. *Soil Organic matter in sustainable agriculture*, pp. 44-65. Boca Raton, FL, USA, CRC Press.
- Mapfumo, P., Adjei-Nsiah, S., Mtambanengweb, F., Chikowo, R. & Giller, K.E.** 2013. Participatory action research (PAR) as an entry point for supporting climate change adaptation by smallholder farmers in Africa. *Environmental Development*, 5: 6-22.
- Mijatović, D., Van Oudenhovenb, F., Pablo Eyzaguirreb, P. & Hodgkins, T.** 2013. The role of agricultural biodiversity in strengthening resilience to climate change: towards an analytical framework. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 11(2): 95-107.
- Murgueitio, E., Calle, Z., Uribea, F., Calle, A. & Solorio, B.** 2011. Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. *Forest Ecology and Management*, 261: 1654-1663.
- Natarajan, M. & Willey, R.W.** 1986. The effects of water stress on yield advantages of intercropping systems. *Field Crops Research*, 13: 117-131.
- Netting, R.M.** 1993. *Smallholders, Householders: Farm Families and the Ecology of Intensive, Sustainable Agriculture*. Palo Alto, CA, USA, Stanford University Press.



- Nicholls, C.I. & Altieri, M.A.** 2013. *Agroecología y cambio climático: metodologías para evaluar la resiliencia socio-ecológica en comunidades rurales*. Red Iberoamericana de Agroecología para el desarrollo de Sistemas Agrícolas Resilientes al Cambio Climático (REDAGRES). Lima, Gama Grafica. 91 pp.
- Nicholls, C.I., Rios, L. & Altieri, M.A.** 2013. *Agroecología y resiliencia socioecológica: adaptándose al cambio climático*. Red Iberoamericana de Agroecología para el desarrollo de Sistemas Agrícolas Resilientes al Cambio Climático (REDAGRES). Medellín, Colombia. 207 pp.
- Perfecto, I., Vandermeer, J. & Wright, A.** 2009. *Nature's matrix: linking agriculture, conservation and food sovereignty*. Londres, Earthscan.
- Petersen, P., Tardin, J.M. & Marochi, F.** 1999. Participatory development of no-tillage systems without herbicides for family farming; the experience of the Center-South region of Paraná. *Environment, Development and Sustainability*, 1: 235-252.
- Philpott, S.M., Lin, B.B., Jha, S. & Brines, S.J.** 2009. A multiscale assessment of hurricane impacts on agricultural landscapes based on land use and topographic features. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 128: 12-20.
- Reij, C.** 1991. *Indigenous Soil and Water Conservation in Africa*. International Institute for Environment and Development Gatekeeper Series No 27. London.
- Reij, C., Scoones, I. & Toulmin, C.** 1996. *Sustaining the soil: indigenous soil and water conservation in Africa*. Londres, Earthscan.
- Rogé, P., Friedman, A.R., Astier, M. & Altieri, M.A.** 2014. Farmer strategies for dealing with climatic variability: a case study from the Mixteca Alta Region of Oaxaca, Mexico. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, DOI: 10.1080/21683565.2014.900842.
- Rosenzweig, C. & Hillel, D.** 2008. *Climate change and the global harvest: impacts of El Nino and other oscillations on agroecosystems*. New York, USA, Oxford University Press.
- Rosset, P.M., Machin Sosa, B., Roque Jaime, A.M. & Ávila Lozano, D.R.** 2011. The Campesino-to-Campesino agroecology movement of ANAP in Cuba: social process methodology in the construction of sustainable peasant agriculture and food sovereignty. *Journal of peasant studies*, 38(1): 161-191.
- Swiderska, K., Reid, H., Song, Y., Li, J., Mutta, D., Ongogu, P., Mohamed, P., Oros, R., & Barriga, S.** 2011. *The role of traditional knowledge and crop varieties in adaptation to climate change and food security in SW China, Bolivian Andes and coastal Kenya*. Londres, Institut international pour l'environnement et le développement (IIED).
- Thornton, P.K.** 2003. The potential impacts of climate change in tropical agriculture: the case of maize in Africa and Latin America in 2055. *Global Environmental Change*, 13: 51-59.
- Toledo, V.M. & Barrera-Bassols, N.** 2008. *La Memoria Biocultural: la importancia ecologica de las sabidurias tradicionales*. Barcelone, Espagne, ICARIA Editorial.
- Tompkins, E.L. & Adger, W.N.** 2004. Does Adaptive Management of Natural Resources Enhance Resilience to Climate Change. *Ecology and Society*, 9(2): 10.
- Vandermeer, J.** 1989. *The Ecology of Intercropping*. Cambridge, UK, Cambridge University Press. 237 pp.
- Vandermeer, J., van Noordwijk, M., Anderson, J., Ong, C. & Perfecto, I.** 1998. Global change and multi-species agroecosystems: concepts and issues. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 67: 1-22.
- Wilken, G.C.** 1987. *Good farmers: traditional agricultural resource management in Mexico and Central America*. Berkeley, CA, USA, University of California Press.
- Zhu, Y., Fen, H., Wang, Y., Li, Y., Chen, J., Hu, L. & Mundt, C.C.** 2000. Genetic diversity and disease control in rice. *Nature*, 406: 718-772.
- Zougmore, R., Mando, A. & Stroosnijder, L.** 2004. Effect of soil and water conservation and nutrient management on the soil-plant water balance in semi-arid Burkina Faso. *Agricultural Water Management*, 65: 103-120.



L'AGROÉCOLOGIE est la science de la mise en œuvre des concepts et principes de l'écologie pour la conception et à la gestion de systèmes alimentaires durables.* Elle se penche sur les interactions entre les plantes, les animaux, les humains et l'environnement. Les principes agroécologiques fonctionnent en harmonie avec ces interactions, appliquant des solutions innovantes qui tirent parti de la biodiversité tout en la préservant. L'agroécologie est pratiquée aux quatre coins du monde, et s'articule autour des savoirs locaux et traditionnels des petits paysans. De par son approche intégrative, l'agroécologie est un domaine où convergent science, pratique et mouvements sociaux pour tendre vers une transition vers des systèmes alimentaires durables, reposant sur l'équité, la participation et la justice.

* Gliessman, S.R. 2007. *Agroecology: the Ecology of Sustainable Food Systems*. 2nd Edition. Boca Raton, FL, USA, CRC Press, Taylor & Francis Group.



LA BIODIVERSITÉ ET LES SERVICES AGROSYSTÉMIQUES DANS LES SYSTÈMES DE PRODUCTION AGRICOLE

Organisation des Nations Unies pour
l'alimentation et l'agriculture
Viale delle Terme di Caracalla,
00153 Rome, Italie
www.fao.org

En collaboration avec:



 Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Développement et coopération

Office fédéral de l'agriculture OFAG