



HAL
open science

Mise en oeuvre des apports de l'écologie à l'agroécologie

Claire Lavigne, Doyle Mckey, Sébastien Barot, Emmanuelle Porcher

► To cite this version:

Claire Lavigne, Doyle Mckey, Sébastien Barot, Emmanuelle Porcher. Mise en oeuvre des apports de l'écologie à l'agroécologie. Bernard Hubert; Denis Couvet. La transition agroécologique. Quelles perspectives en France et ailleurs dans le monde? Tome II, Presses des Mines, pp.119-131, 2021, 978-2-35671-679-8. hal-03326031

HAL Id: hal-03326031

<https://hal.science/hal-03326031v1>

Submitted on 25 Aug 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Mise en œuvre des apports de l'écologie à l'agroécologie

Claire Lavigne, Doyle McKey, Sébastien Barot, Emmanuelle Porcher

Introduction

Comme cela a été présenté au chapitre 14, la recherche en écologie apporte des connaissances sur des principes de fonctionnement des agroécosystèmes. Cependant, leur mise en œuvre concrète dans des pratiques agroécologiques soulève de nombreuses questions. La diversité des agricultures dans le passé, et dans les différentes parties du monde aujourd'hui, fournit de nombreux exemples qui peuvent être sources d'inspiration pour la transition agroécologique. Premièrement, on peut supposer que si une société a une longue histoire d'interaction avec son milieu, c'est parce qu'elle l'exploite de façon durable. Ses pratiques, et les savoirs empiriques associés, sont passés au crible d'une longue période d'adaptation culturelle et sont ceux qui fonctionnent dans la durée [1]. Souvent, les sociétés « s'adaptent » en modifiant l'environnement pour mieux subvenir à leurs besoins, par construction culturelle de la niche [2]. De plus, les systèmes d'agriculture diversifiés actuels se trouvent surtout dans des régions où de fortes contraintes environnementales ont freiné l'expansion du modèle de l'agriculture conventionnelle [3]. Dans ces régions considérées « marginales » pour l'agriculture, les agriculteurs ont par nécessité maintenu des pratiques qui dépendent non pas d'intrants artificiels, mais des services écosystémiques fournis par la biodiversité. Comprendre les sources de la résilience de ces modes d'agriculture face aux conditions environnementales extrêmes peut nous aider à concevoir des systèmes capables de fonctionner dans un avenir qui sera marqué partout par une plus grande fréquence d'événements climatiques extrêmes et par la nécessité (pour des raisons économiques et écologiques) de diminuer l'usage d'intrants. Les pratiques de ces « agricultures singulières » [3] peuvent être riches de leçons pour la transition agroécologique [4, 5]. D'ailleurs, pour certains, l'origine même de l'agroécologie n'est pas européenne mais interculturelle et construite sur le dialogue entre différents types de savoir, incluant le savoir local des petits agriculteurs du Sud (voir par exemple [6]).

Dans ce chapitre, nous présentons des exemples de mise en œuvre des principes écologiques dans des pratiques agroécologiques. Nous examinons ensuite la capacité de l'écologie à fournir des résultats suffisamment opérationnels pour être utilisables en agriculture. Nous proposons pour finir des perspectives de recherche pour que l'écologie contribue davantage à la transition de l'agriculture.

Mises en œuvre des apports de l'écologie

Les pratiques agricoles provenant d'ailleurs, documentées par l'ethnobiologie

et l'écologie historique, et celles de sociétés passées révélées par l'archéologie, offrent de nombreux exemples de systèmes dont la durabilité repose sur les principes de l'agroécologie. Par exemple, au Mexique les chinampas, surfaces cultivables créées dans les zones lacustres de Mésoméridique, construits dans des bassins marécageux, juxtaposent de longues plateformes surélevées, qui servent de champs, et des canaux [7]. Les racines des arbres plantés le long des bords stabilisent les plateformes. Certains des arbres utilisés (les aulnes) sont fixateurs d'azote atmosphérique. Le sol et la matière organique érodés des plateformes sont captés dans les sédiments des canaux, et des nutriments sont assimilés par la végétation aquatique. Ces sédiments et cette biomasse sont périodiquement ramassés et répandus sur les plateformes, recyclant ainsi les nutriments minéraux et renouvelant la matière organique du sol. La concentration de nutriments dans ces paysages sur les seules plateformes, qui constituent peut-être la moitié de la surface, crée une fertilité hétérogène, très élevée sur les plateformes. Le paysage ainsi créé est une riche mosaïque d'habitats aquatiques et terrestres, dont la biodiversité associée est cruciale pour le fonctionnement du système.

En Asie tropicale, des systèmes mêlant riziculture et aquaculture intègrent ces mêmes principes [8] (figure 1). Dans ces systèmes de co-culture, canards et poissons contribuent aux cycles de nutriments. Dans certains cas, la symbiose entre fougères aquatiques (*Azolla*) et cyanobactéries fixatrices d'azote (*Nostoc*) vient fertiliser les cultures. Comme dans les chinampas, les sédiments dans les rizières sont parfois ramassés et empilés sur les levées séparant les parcelles. Des légumes et d'autres cultures ne tolérant pas l'inondation sont plantés sur les levées. Les interactions au sein de ces agroécosystèmes complexes contribuent non seulement au recyclage des nutriments, mais aussi à la régulation des populations de ravageurs. Des expériences de culture de riz sans ou avec poissons montrent que les plantes sont moins attaquées par plusieurs espèces de cicadelles, vecteurs de viroses systémiques, en présence de poissons qui percent les tiges de riz, provoquant la chute des cicadelles qui sont ensuite consommées par les poissons [9].



Figure 1. Système riz/poisson/canard intégré, Yunnan, Chine, 2018 Légende : Vue du paysage (A). Les levées séparant les différentes parcelles de rizières inondées sont à la fois des champs surélevés (enrichis périodiquement par les sédiments retirés des rizières) sur lesquels sont cultivées des cultures ne tolérant pas l'inondation comme la patate douce (B) et le maïs, la courge, et le taro (C). Le niveau d'eau dans chaque rizière est contrôlé en fonction du stade de développement des plantes par un système de canaux et l'ouverture ou fermeture de digues (D). Les canards sont dirigés vers des parcelles où le riz a déjà été récolté (E) mais sont écartés des parcelles où ils peuvent détruire les jeunes plants (F) ou consommer les grains de riz. Les rizières offrent un habitat protégé pour les jeunes poissons (G). En plus des services de régulation des ravageurs et de recyclage des nutriments, la biodiversité de ce système fournit du riz (H), des canards et leurs œufs (I), et du poisson (J, K). Photos D. McKey.

L'eau

Les régions où l'eau est très limitante offrent aussi des exemples de systèmes inventés localement qui intègrent des principes agroécologiques et utilisent la biodiversité auxiliaire. Par exemple, des agriculteurs dans la zone sahélienne du Burkina Faso ont inventé un système appelé zaï. Ce système est fondé sur les rétroactions entre végétation et milieu abiotique qui façonnent les écosystèmes naturels de la région. Dans cette région semi-aride où les sols sont souvent encroûtés, au lieu de labourer des parcelles pour détruire la croûte (pratique parfois conseillée par des agronomes), les paysans laissent la croûte intacte, creusant des trous espacés dans lesquels ils mettent du sol et de la matière organique avant de planter quelques plants de mil et d'autres cultures. L'eau de pluie s'écoule sur la surface encroûtée jusqu'à ce qu'elle arrive à une tache cultivée, où elle s'infiltré dans le sol plus poreux près des racines des cultures [10]. Ce mécanisme, qui concentre l'eau, là où se trouvent les cultures, permet l'agriculture dans une région où elle serait impossible si l'eau de pluie était distribuée de façon uniforme. Ce mécanisme est le même qui a créé, et qui maintient, des taches ou des bandes régulièrement espacées qui caractérisent la végétation naturelle de la région [11].

Les terras pretas

Découvertes par des pédologues, des archéologues et des anthropologues travaillant ensemble, les terras pretas (« sols noirs » en portugais) de l'Amazonie sont des sols de couleur sombre, très fertiles. La minéralogie de leur argile, riche en kaolinite, montre qu'ils sont dérivés des oxisols – sols rouges, très lessivés, acides et infertiles – qui dominent les aires inter-fluviales de l'Amazonie. Regorgeant souvent de tessons de céramiques, les terras pretas résultent clairement de l'occupation humaine précolombienne [12]. Leur fertilité s'explique en partie par le fait que les humains ont déposé sur ces sols des nutriments provenant d'une multitude de sources (déchets de cuisine, excréments...). Mais le fait que leur fertilité perdure des siècles après leur abandon s'explique surtout par leur teneur élevée en charbon de bois. Réduit par des processus physiques et biotiques (impliquant l'action de la faune du sol) en petites particules, dont les surfaces oxydées (entre autres par des bactéries du sol) fournissent des sites de rétention de cations, le charbon de bois confère aux terras pretas une fertilité durable. Le charbon de bois étant une forme de matière organique extrêmement stable, l'occupation humaine précolombienne a durablement rendu ces terres plus favorables à l'agriculture [13].

Produire du charbon de bois à grande échelle n'est guère une pratique durable. Mais le charbon de bois n'est qu'une forme de biochar. Le biochar, terme qui englobe les produits de la décomposition thermique de biomasse en présence de peu ou pas d'oxygène et à des températures relativement basses (< 700 °C), peut être produit à partir de multiples sources de biomasse, comme des déchets d'activités forestières, du papier, du carton. Comme le charbon de bois, le biochar a des effets bénéfiques sur les propriétés des sols. Aujourd'hui, le nombre d'études sur le biochar dépassent de loin le nombre d'études sur la terra preta [14]

Utilisation de plantes pérennes

Les agricultures d'ailleurs fournissent aussi de nombreux exemples de modes d'agriculture intégrant la végétation pérenne et donnant ainsi une meilleure protection aux sols. Les exemples les mieux connus sont la grande diversité de systèmes agroforestiers, dont certains, par exemple les jardins forestiers Maya [15], intègrent des pratiques enracinées depuis des siècles. Comme mentionné dans le chapitre 14, un autre courant de recherche dans ce sens est le développement des céréales pérennes, surtout des formes « pérennisées » de cultures annuelles [16]. Dans différentes parties du monde, certaines cultures annuelles sont soumises au ratoonning : les parties aériennes sont coupées après la récolte. Des parties souterraines laissées en terre, de nouvelles tiges repoussent. Cette pratique permet le développement de systèmes racinaires plus extensifs [17]. Cependant, la durée de vie des plantes semble rarement dépasser les deux ans. Des bénéfices peut-être plus importants peuvent être fournis par des espèces domestiquées vivaces de légumineuses à grain tels que *Cajanus cajan*, *Phaseolus dumosus* et *P. coccineus* [18]. La biodiversité sauvage – et son utilisation par des sociétés non industrielles – contribuent aussi à construire la

fondation botanique d'une agriculture basée sur des plantes pérennes [18]. Par exemple, l'étude génomique des crop wild relatives (CWR, plantes sauvages apparentées aux plantes domestiquées) peut accélérer le développement de variétés pérennes de céréales, par exemple du blé [19].

Importance du savoir des agriculteurs

Durant des longues périodes d'adaptation culturelle, les agriculteurs ont acquis des savoirs empiriques nécessaires pour faire fonctionner des agroécosystèmes, sans les intrants artificiels dont dépend l'agriculture moderne. Leurs connaissances sur la régulation des ravageurs, la fertilité du sol et sa gestion, les vers de terre et leurs rôles dans les sols, et de nombreux autres processus impliquant la biodiversité [20, 21], sont cruciales pour le succès de leur agriculture. Dans l'agriculture conventionnelle, ces savoirs ont été perdus. En fait, les politiques, les technologies et les pressions économiques accompagnant l'agriculture conventionnelle, ainsi que la concentration des terres dans un plus petit nombre de grandes exploitations, favorisent l'érosion des savoirs agricoles [22]. Les plus grands défis pour une agriculture durable incluent sûrement le reskilling, la formation d'agriculteurs possédant ces savoirs [22].

Besoins de recherche

Pour être intégrées de manière opérationnelle, les connaissances en écologie demandent des savoirs qui ont pu être perdus. En simplifiant, on peut considérer que dans les systèmes conventionnels, le milieu était essentiellement vu par ses caractéristiques abiotiques (par exemple le sol comme support et source d'eau et de nutriments, le climat pour le rayonnement et la température). La biodiversité associée aux cultures était partiellement ignorée (par exemple la biodiversité du sol), voire tenue à distance (insecticides avec des effets sur les bioagresseurs mais également sur le reste de l'entomofaune, y compris les auxiliaires et pollinisateurs). La recherche en écophysiologie était par exemple questionnée sur les lois de réponse de cultures homogènes aux conditions abiotiques, lois qui peuvent ensuite être intégrées dans des modèles de culture pour prédire la production dans des situations contrastées [23]. La prise en compte de la biodiversité et de sa dynamique comme partie intégrante du système nécessite de réfléchir aux dispositifs de recherche et à la nature des connaissances écologiques nécessaires pour la conception de systèmes agroécologiques.

Des questions nouvelles ou reformulées ?

L'écologie s'intéresse déjà à la question, par exemple, du fonctionnement de couverts mixtes ou de réseaux trophiques diversifiés. Plusieurs spécificités liées aux systèmes cultivés, au moins en pays tempérés, les différencient cependant des systèmes naturels et soulèvent de nouvelles questions. Nous en expliciterons deux.

La première spécificité concerne le fait que les couverts sont semés ou plantés et changent généralement tous les ans sur une parcelle (au moins pour les cultures annuelles). Ils sont généralement peu diversifiés (ex. légumineuses/céréales) et il est probable qu'ils vont le rester à l'échelle de la parcelle pour des contraintes techniques de gestion de la culture et de la récolte. Les travaux expérimentaux menés dans le domaine du Biodiversity and Ecosystem Functioning indiquent que la meilleure productivité des systèmes diversifiés repose sur un effet d'échantillonnage (ou de sélection) et un effet de complémentarité. Dans des parcelles peu diversifiées, l'effet d'échantillonnage est peu probable à l'échelle de la parcelle et devrait plutôt se raisonner à l'échelle de l'exploitation pour assurer une stabilité de revenu à l'agriculteur [24]. À cette échelle, des recherches sont nécessaires sur le comportement d'espèces « de diversification », peu cultivées actuellement, face à des variations environnementales et sur la meilleure façon de les conduire ([25] sur l'exemple de la cameline). L'effet de complémentarité, par une différenciation des niches ou de la facilitation, pourrait, en revanche, être mis à profit au sein d'une parcelle pour optimiser la production végétale, particulièrement dans un contexte de faible disponibilité en eau ou en nutriments, mais il reste quelques incertitudes. Par exemple, on connaît encore mal les caractéristiques (traits) des espèces/génotypes à associer pour maximiser la complémentarité entre elles [26]. Des travaux sur les interactions plantes-plantes ou plantes-microorganismes sont donc toujours nécessaires. Certains travaux prometteurs explorent par exemple l'utilisation d'espèces de plantes compagnes facilitatrices de mycorhization des plantes cultivées, ou la densification des réseaux mycorhiziens par la culture intercalaire de différentes cultures mycorhizées [27]. Ces connaissances pourraient aussi être intégrées dans des travaux sur les arrangements spatiaux optimaux des différentes espèces cultivées au sein de la parcelle.

De plus, il semble que l'amélioration des plantes sur des critères propres à l'agriculture conventionnelle, avec un processus de sélection en contexte homogène (une seule espèce, une seule variété homogène et stable) ait conduit à une perte évolutive des mécanismes de complémentarité [28]. L'agroécologie doit donc initier une réflexion pour retrouver des dispositifs de sélection pour des cultures diversifiées, comme cela a été maintenu par exemple pour les espèces fourragères. L'importance des microorganismes du sol pour le prélèvement des nutriments ouvre également des portes vers des travaux en écologie évolutive qui pourraient permettre à terme une sélection conjointe des plantes et de la microflore associée [29].

La relativement faible diversité intra-parcellaire continuera à créer, comme c'est le cas aujourd'hui, une mosaïque dynamique de couverts à l'échelle paysagère. Dans un contexte de réduction des pesticides, la question de l'arrangement spatial de ces couverts pour maximiser le service de contrôle des ravageurs par les auxiliaires et le service de pollinisation reste d'actualité. Cette question nécessite notamment de poursuivre des travaux en écologie sur les déterminants des mouvements des ravageurs et auxiliaires dans les paysages

ainsi que sur les pratiques agricoles permettant la constitution de réseaux trophiques limitant les abondances de ravageurs.

Une seconde spécificité des systèmes cultivés est qu'ils sont menés dans un objectif de production, le plus souvent à l'échelle d'une saison. Le revenu des agriculteurs impliqués en dépend à très court terme et il leur est difficile de prendre des risques. Ceci interroge le type de connaissances écologiques produites. L'écologie s'est beaucoup concentrée sur la compréhension des processus à l'œuvre dans les écosystèmes et moins sur leur pilotage, à l'exception notable de l'écologie de la conservation ou l'écologie de la restauration, qui font appel à l'ingénierie écologique [30]. Dans le domaine agricole, la lutte biologique est également un exemple d'application des connaissances écologiques (par ex. [31]). Passer de la compréhension à la conception et au pilotage des systèmes nécessite un changement dans le type de connaissances produites. Dans une première approche il s'agit de passer de l'explicatif au prédictif et du qualitatif au quantitatif. Il ne s'agit donc plus de savoir si la diversité des cultures va, en moyenne, rendre les systèmes de culture plus durables, mais de savoir comment cela va être possible pour chacun des cas particuliers étudiés. Cependant, produire des connaissances quantitatives semble illusoire devant la complexité des systèmes en jeu. Une solution pourrait être de produire des connaissances écologiques qui ne visent pas à prédire comment les systèmes vont évoluer avec précision mais qui soient utiles pour augmenter leur résilience et pour aider les agriculteurs à prendre des décisions dans le cadre d'une gestion adaptative.

Expérimenter les systèmes agroécologiques

Les expérimentations visant à comprendre la croissance des plantes ou à tester des modes de conduite sont traditionnellement faites en conditions contrôlées, en micro-parcelles ou parcelles entières sur des plantes maintenues saines grâce aux traitements pesticides avec des dispositifs permettant des analyses statistiques relativement classiques (blocs, répétitions...). La situation est différente lorsque l'on s'intéresse à la question de l'expérimentation sur des systèmes agroécologiques. D'une part, ces systèmes sont basés sur les interactions entre plusieurs espèces cultivées, dont les densités et la croissance sont plus ou moins contrôlées, et des espèces associées (ravageurs, maladies, microorganismes du sol, auxiliaires des cultures, pollinisateurs...) qui ont leur dynamique propre. La complexité des interactions entre espèces (e.g. [32] sur les interactions microorganismes, plantes, insectes) fait que leur réponse aux pratiques agricoles est peu prévisible et qu'elle peut être très dépendante de la communauté d'espèces localement présentes [33]. D'autre part, les expérimentations « hors sol » en conditions contrôlées, plutôt qu'directement sur le terrain, ont moins de sens puisqu'elles s'extraient d'une partie du réseau d'interactions, même si certains peuvent être partiellement reconstitués [34]. Enfin, du fait de la dépendance aux dynamiques des communautés d'espèces présentes, la généralisation des résultats obtenus dans une situation particulière est difficile. Ces difficultés peuvent être partiellement contournées par les

approches basées sur les traits fonctionnels des espèces plutôt que sur leur identité, approches qui sont en fort développement [26, 35], mais dans les faits, les traits de nombreuses espèces sont encore mal connus et l'inclusion des traits fonctionnels ne résout que partiellement le problème du grand nombre d'interactions impliquées. Cette forte variabilité entre situations particulières est bien visible dans les méta-analyses (effets des vers de terre sur le rendement [36], effets des habitats semi-naturels sur le contrôle des ravageurs [37–39]). Une solution actuellement en développement est l'expérimentation à grande échelle au sein des unités expérimentales d'INRAE ou des lycées agricoles tel que le dispositif Casys sur l'unité expérimentale d'Epoisses, qui regroupe 130 ha sans pesticides en grandes cultures diversifiées [40], ou le dispositif Oasys¹ qui teste un système bovin laitier durable avec un fourrage diversifié (y compris arboré) pour augmenter la résilience des élevages face aux changements climatiques. L'analyse du fonctionnement de ces systèmes et la possibilité d'y faire des expérimentations sur le long terme fourniront des connaissances précieuses pour la conception de systèmes. D'autres approches permettant de construire des connaissances robustes et faciles à mettre en œuvre sont à trouver dans des dispositifs participatifs, tels que ceux évoqués plus bas.

Échelles de temps et d'espace, dispositifs à long terme

Une autre spécificité des systèmes agroécologiques concerne la diversité des échelles spatiales et temporelles auxquelles fonctionnent les processus écologiques impliqués. La croissance et le rendement de la plante cultivée ne dépendent plus principalement des conditions abiotiques locales mais également de l'environnement proche ou paysager des parcelles via les dynamiques des ravageurs ou des auxiliaires, qui peuvent se dérouler sur des étendues bien supérieures à la parcelle [41]. En effet, certaines espèces utilisent des ressources hors des parcelles à certaines périodes de l'année (sources alternatives de nourriture, site d'hivernation...). De plus les abondances des ravageurs ou auxiliaires, comme celles d'autres espèces, dépendent largement des structures de paysages dans le passé [42, 43]. Les approches d'écologie du paysage ou d'écologie spatiale sont mobilisées pour répondre aux questions qui se posent à cette échelle grâce à la réelle avancée que constitue la mise en place de zones observatoires chez des agriculteurs (par exemple des réseaux d'observation du type « Sebiopag (Services Écosystémiques assurés par la Biodiversité dans les Paysages Agricoles) »² ou zone atelier « Plaine et val de Sèvres »³) dans lesquelles sont combinées des observations des structures des paysages, des pratiques agricoles et des dynamiques des ravageurs et auxiliaires. Cependant, l'articulation des connaissances produites à différentes échelles et leur opérationnalisation pour la conception de systèmes est encore difficile. À cette difficulté se rajoute celle de la non-superposition des échelles de

¹ <https://inra-dam-front-resources-cdn.brainsonic.com/ressources/afile/321598-8ccb1-resource-depliant-oasys.html>

² <https://sebiopag.inra.fr/>

³ www.za.plainevalsevre.cnrs.fr

gouvernance socio-économique et de celle des processus écologiques (scale mismatch [44]).

Quels partenariats ?

La résolution de questions de recherche nécessite que les écologues nouent des partenariats divers. D'un point de vue académique, le plus immédiat est avec les agronomes qui ont une connaissance des pratiques des agriculteurs et des raisonnements à la base de ces pratiques (voir chapitre 10). A minima cette collaboration permet de connaître l'environnement dans lequel se déroulent les processus écologiques. Dans une approche un peu plus intégrée elle permet une réflexion conjointe sur les leviers à mobiliser pour obtenir un ou plusieurs objectifs (par exemple une meilleure fertilité du sol ou une meilleure régulation des ravageurs par des auxiliaires). Quand il s'agit de concevoir des systèmes agroécologiques et non pas de travailler sur un processus particulier, il est souhaitable qu'une collaboration plus large soit mise en place avec des techniciens du développement et des agriculteurs (voir chapitre 22). Ceux-ci possèdent des connaissances expertes sur le fonctionnement de leurs cultures et l'environnement biotique ou abiotique des parcelles (parcelles généralement peu ou très infestées, principaux auxiliaires et périodes de présence, effets de périodes de canicule ou d'hivers doux par exemple). Ils sont ainsi mieux à même d'anticiper certains effets de leurs pratiques sur l'écologie de leurs parcelles et connaissent également leurs contraintes techniques. Ce processus de recherche participative permet d'ancrer les recherches dans un contexte agricole tout en aboutissant parfois à des dispositifs originaux tel que, par exemple, le verger circulaire diversifié de l'Unité Expérimentale de Recherches Intégrées (UERI) Gotheron⁴ qui est maintenant le support de nombreux travaux en écologie. Il permet également de soulever de nouvelles questions de recherche pour l'écologie à partir des observations des agriculteurs ou des techniciens (cf. certaines pratiques mises en œuvre par des agriculteurs : mulch, bandes fleuries, associations d'espèces...).

Dans l'optique d'apprendre ce que peuvent apporter à l'agroécologie les agricultures d'ailleurs et les agricultures « non-conventionnelles », notamment l'agriculture paysanne des pays du Sud et du Nord, le partenariat peut-être le plus crucial à établir est celui avec les petits agriculteurs eux-mêmes. Leurs savoirs empiriques, jusqu'à assez récemment ignorés par les agronomes du développement, ont fréquemment montré leur valeur dans la pratique et sont devenus un élément important du socle actuel du 'développement durable'. Comme dit Hubert Cochet ([45], p. 99), il faut « rompre les hiérarchies implicites » entre « savoirs d'en haut et savoirs d'en bas ». Les effets, et la rationalité, de nombreuses pratiques agricoles restent à être analysés pour être rendus intelligibles au plus grand nombre. L'étape première, et la plus importante, dans l'approche participative à l'agronomie du développement est d'écouter. Le serment d'Hippocrate des médecins devrait être étendu aux agronomes

⁴ <https://www6.paca.inrae.fr/ueri/Actualites/Seminaire-Projet-Z>

travaillant dans les pays du Sud et du Nord : avant tout, ne pas nuire. Il faut rajouter que même si de nombreuses recherches restent nécessaires pour développer pleinement l'agroécologie et affiner les pratiques, les chercheurs, mais surtout certains agriculteurs, ont déjà des connaissances suffisantes pour s'engager pleinement dans l'agroécologie.

Bibliographie

- [1] Berkes F, Colding J, Folke C (2000) Rediscovery of traditional ecological knowledge as adaptive management. *Ecological Applications* 10(5): 1251-1262
- [2] Smith EA (2013) Agency and adaptation: new directions in evolutionary anthropology. *Annual Review of Anthropology* 42: 103-120
- [3] Mollard E, Walter A (2013) *Agricultures singulières*, IRD Éditions, Marseille, 343 pages
- [4] Altieri MA (2002) Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 93(1-3): 1-24
- [5] Gliessman SR (2015) *Agroecology: the ecology of sustainable food systems*, CRC Press, Boca Raton, 405 pages
- [6] Loconto A, Fouilleux E (2019) Defining agroecology: exploring the circulation of knowledge in FAO's global dialogue. *International Journal of the Society of Agriculture & Food* 25(2): 116-137
- [7] Crews TE, Gliessman SR (1991) Raised field agriculture in Tlaxcala, Mexico: an ecosystem perspective on maintenance of soil fertility. *American Journal of Alternative Agriculture* 6(1): 9-16
- [8] Kangmin L (1988) Rice-fish culture in China: a review. *Aquaculture* 71(3): 173-186
- [9] 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. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 108(50): E1381-E1387
- [10] Roose E, Kabore V, Guenat C (1999) Zaï practice: a West African traditional rehabilitation system for semiarid degraded lands, a case study in Burkina Faso. *Arid Soil Research and Rehabilitation* 13: 343-355
- [11] Rietkerk M, Van de Koppel J (2008) Regular pattern formation in real ecosystems. *Trends in Ecology & Evolution* 23(3): 169-175
- [12] Glaser B, Birk JJ (2012) State of the scientific knowledge on properties and genesis of Anthropogenic Dark Earths in Central Amazonia (terra preta de Índio). *Geochimica et Cosmochimica Acta* 82: 39-51
- [13] Glaser B, Haumaier L, Guggenberger G, Zech W (2001) The "Terra Preta" phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics. *Naturwissenschaften* 88: 37-41
- [14] Bezerra J, Turnhout E, Vasquez IM, Rittl TF, Arts B, Kuyper TW (2019) The promises of the Amazonian soil: shifts in discourses of Terra Preta and biochar. *Journal of Environmental Policy & Planning* 21(5): 623-635
- [15] Ford A, Topsey CE (2019) Learning from the ancient Maya: conservation of the culture and nature of the Maya, In: Jameson J, Musteață S (Ed.), *Transforming heritage practice in the 21st Century*. One World Archaeology. Springer, Cham: 113-123
- [16] Crews TE, Carton W, Olsson L (2018) Is the future of agriculture perennial? Imperatives and opportunities to reinvent agriculture by shifting from annual monocultures to perennial polycultures. *Global Sustainability* 1: E11

- [17] Kane DA, Rogé P, Snapp SS (2016) A systematic review of perennial staple crops literature using topic modeling and bibliometric analysis. *PLoS One* 11(5) : e0155788
- [18] Ciotir C, Applequist W, Crews TE, Cristea N, DeHaan LR, Frawley E, Herron S, Magill R, Miller J, Roskov Y, Schlautman B, Solomon J, Townesmith A, Van Tassel D, Zarucchi J, Miller AJ (2019) Building a botanical foundation for perennial agriculture: global inventory of wild, perennial herbaceous Fabaceae species. *Plants, People, Planet* 1(4) : 375-386
- [19] Curwen-McAdams C, Jones SS (2017) Breeding perennial grain crops based on wheat crop. *Crop Science* 57(3) : 1172-1188
- [20] Wilken GC (1990) Good farmers: traditional agricultural resource management in Mexico and Central America, University of California Press, Berkeley, 320 pages
- [21] Sillitoe P (1998) The development of indigenous knowledge: a new applied anthropology. *Current Anthropology* 39(2) : 223-252
- [22] Carlisle L, Montenegro de Wit M, DeLonge MS, Iles A, Calo A, Getz C, Ory J, Munden-Dixon K, Galt R, Melone B, Knox R., Press D (2019) Transitioning to sustainable agriculture requires growing and sustaining an ecologically skilled workforce. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 3 : 96
- [23] Jeuffroy M-H, Casadebaig P, Debaeke P, Loyce C, Meynard J-M (2014) Agronomic model uses to predict cultivar performance in various environments and cropping systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 34 : 121-137
- [24] Paut R, Sabatier R, Tchamitchian M (2019) Reducing risk through crop diversification: an application of portfolio theory to diversified horticultural systems. *Agricultural Systems* 168 : 123-130
- [25] Leclère M, Loyce C, Jeuffroy M-H (2018) Growing camelina as a second crop in France: a participatory design approach to produce actionable knowledge. *European Journal of Agronomy* 101 : 78-89
- [26] Barot S, Allard V, Cantarel A, Enjalbert J, Gauffreteau A, Goldringer I, Lata J-C, Le Roux X, Niboyet A, Porcher E (2017) Designing mixtures of varieties for multifunctional agriculture with the help of ecology. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 37 : 13
- [27] Chave M, Angeon V, Paut R, Collombet R, Tchamitchian M (2019) Codesigning biodiversity-based agrosystems promotes alternatives to mycorrhizal inoculants. *Agronomy for Sustainable Development* 39 : 48
- [28] Chacón-Labela J, García Palacios P, Matesanz S, Schöb C, Milla R (2019) Plant domestication disrupts biodiversity effects across major crop types. *Ecology Letters* 22(9) : 1472-1482
- [29] Lemanceau P, Blouin M, Muller D, Moëgne-Loccoz Y (2017) Let the Core Microbiota Be Functional. *Trends in Plant Science* 22(7) : 583-595
- [30] Barot S, Lata J-C, Lacroix G (2012) Meeting the relational challenge of ecological engineering within ecological sciences. *Ecological Engineering* 45 : 13-23
- [31] Bajeux N, Grogard F, Mailleret L (2017) Augmentative biocontrol when natural enemies are subject to Allee effects. *Journal of Mathematical Biology* 74(7) : 1561-1587
- [32] Shikano I, Rosa C, Tan C-W, Felton GW (2017) Tritrophic interactions: microbe-mediated plant effects on insect herbivores. *Annual Review of Phytopathology* 55(1) : 313-331
- [33] Avio L, Turrini A, Giovannetti M, Sbrana C (2018) Designing the ideotype mycorrhizal symbionts for the production of healthy food. *Frontiers in Plant Science* 9 : 1089
- [34] O'Callaghan M (2016) Microbial inoculation of seed for improved crop performance: issues and opportunities. *Applied Microbiology and Biotechnology* 100 : 5729- 5746
- [35] Martin AR, Isaac ME (2015) Plant functional traits in agroecosystems: a blueprint for

- research. *Journal of Applied Ecology* 52(6): 1425-1435
- [36] van Groenigen JW, Lubbers IM, Vos HMJ, Brown GG, De Deyn GB, van Groenigen KJ (2014) Earthworms increase plant production: a meta-analysis. *ScientificReports* 4: 6365
- [37] Chaplin-Kramer R, de Valpine P, Mills NJ, Kremen C (2013) Detecting pest control services across spatial and temporal scales. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 181: 206-212
- [38] Karp DS, Chaplin-Kramer R, Meehan TD, Martin EA, DeClerck F, Grab H, Gratton C, Hunt L, Larsen AE, Martinez-Salinas A, O'Rourke ME, Rusch A, Poveda K, Jonsson M, Rosenheim JA, Schellhorn NA, Tscharrntke T, Wratten SD, Zhang W, Iverson AL, Adler LS, Albrecht M, Alignier A, Angelella GM, Anjum MZ, Avelino J, Batory P, Baveco JM, Bianchi FJJA, Birkhofer K, Bohnenblust EW, Bommarco R, Brewer MJ, Caballero-Lopez B, Carriere Y, Carvalheiro LG, Cayuela L, Centrella M, Cetkovic A, Henri DC, Chabert A, Costamagna AC, De la Mora A, de Kraker J, Desneux N, Diehl E, Diekoetter T, Dormann CF, Eckberg JO, Entling MH, Fiedler D, Franck P, van Veen FJF, Frank T, Gagic V, Garratt MPD, Getachew A, Gonthier DJ, Goodell PB, Graziosi I, Groves RL, Gurr GM, Hajian-Forooshani Z, Heimpel GE, Herrmann JD, Huseeth AS, Inclan DJ, Ingraio AJ, Iv P, Jacot K, Johnson GA, Jones L, Kaiser M, Kaser JM, Keasar T, Kim TN, Kishinevsky M, Landis DA, Lavandero B, Lavigne C, Le Ralec A, Lemessa D, Letourneau DK, Liere H, Lu Y, Lubin Y, Luttermoser T, Maas B, Mace K, Madeira F, Mader V, Cortesero AM, Marini L, Martinez E, Martinson HM, Menozzi P, Mitchell MGE, Miyashita T, Molina GAR, Molina-Montenegro MA, O'Neal ME, Opatovsky I, Ortiz-Martinez S, Nash M, Östman O, Ouin A, Pak D, Paredes D, Parsa S, Parry H, Perez-Alvarez R, Perovič DJ, Peterson JA, Petit S, Philpott SM, Plantegenest M, Plešáň M, Pluess T, Pons X, Potts SG, Pywell RF, Ragsdale DW, Rand TA, Raymond L, Ricci B, Sargent C, Sarthou JP, Saulais J, Schäckermann J, Schmidt NP, Schneider G, Schüepp C, Sivakoff FS, Smith HG, Stack Whitney K, Stutz S, Szendrei Z, Takada MB, Taki H, Tamburini G, Thomson LJ, Tricault Y, Tsafack N, Tschumi M, Valantin-Morison M, Van Trinh M, Van Der Werf W, Vierling KT, Werling BP, Wickens JB, Wickens VJ, Woodcock BA, Wyckhuys K, Xiao H, Yasuda M, Yoshioka A (2018) Crop pests and predators exhibit inconsistent responses to surrounding landscape composition. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 115(33): E7863-E7870
- [39] Veres A, Petit S, Conord C, Lavigne C (2013) Does landscape composition affect pest abundance and their control by natural enemies? A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 166: 110-117
- [40] Cordeau S, Deytieux V, Lemanceau P, Marget P (2015) Towards the establishment of an experimental research unit on Agroecology in France. *Aspects of Applied Biology* 128: 271-273
- [41] Petit S, Lavigne C (Ed.) (2019) *Paysage, biodiversité fonctionnelle et santé des plantes ; quels impacts pour la santé des cultures*, Éditions Quae, coll. Sciences en partage, Versailles, 240 pages
- [42] Petit S, Burel F (1998) Effects of landscape dynamics on the metapopulation of a ground beetle (Coleoptera, Carabidae) in a hedgerow network. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 69(3): 243-252
- [43] Essl F, Dullinger S, Rabitsch W, Hulme PE, Pysek P, Wilson JRU, Richardson DM (2015) Delayed biodiversity change: no time to waste. *Trends in Ecology and Evolution* 30(7): 375-378
- [44] Pelosi C, Goulard M, Balent G (2010) The spatial scale mismatch between ecological processes and agricultural management: do difficulties come from underlying

- theoretical frameworks? *Agriculture, Ecosystems & Environment* 139(4): 455-462
- [45] Cochet H (2011) *L'agriculture comparée*, Éditions Quae, coll. Indisciplines, Versailles, 160 pages