

# *les dossiers* **d'AGROPOLIS** INTERNATIONAL

*Compétences de la communauté scientifique*

Spécial partenariat



## **Transformations agroécologiques pour des systèmes alimentaires durables**

Panorama de la recherche France-CGIAR

## AGROPOLIS INTERNATIONAL

Implantée en Occitanie (France), Agropolis International est une association à but non lucratif qui réunit un ensemble d'organismes et d'institutions impliqués dans les domaines de l'Agriculture, l'Alimentation, l'Environnement et la Biodiversité. Fondée en 1986 par les établissements de recherche et d'enseignement supérieur, avec le soutien de l'État et des collectivités territoriales, Agropolis International constitue depuis son origine un espace de travail dédié au collectif, facilitant la mise en relation des différents acteurs de ces domaines :

- Institutions scientifiques
- Organismes de recherche étrangers et internationaux
- Collectivités territoriales
- Organisations de la société civile

Espace d'échange, de concertation et de dialogue, pôle de médiation et de diffusion des savoirs, structure d'appui aux projets collectifs, lieu d'accueil de structures et d'événements... Agropolis International décline et adapte son savoir-faire acquis depuis plus de 30 ans, dans les grandes missions que lui confient ses membres.

**Plus d'informations :** [www.agropolis.org](http://www.agropolis.org)

## CIRAD

Le Cirad est l'organisme français de recherche agronomique et de coopération internationale pour le développement durable des régions tropicales et méditerranéennes. Avec ses partenaires, il co-construit des connaissances et des solutions pour contribuer à la résilience des agricultures dans un monde plus durable et solidaire. Il mobilise la science, l'innovation et la formation afin d'atteindre les objectifs de développement durable. Il met son expertise au service de tous, des producteurs aux politiques publiques, pour favoriser la protection de la biodiversité, les transitions agroécologiques, la durabilité des systèmes alimentaires, la santé des plantes, des animaux et des écosystèmes, le développement durable des territoires ruraux et leur résilience face au changement climatique. Présent sur tous les continents dans une cinquantaine de pays, le Cirad s'appuie sur les compétences de ses 1 650 salariés ainsi que sur un réseau mondial de 200 partenaires. Il apporte son soutien à la diplomatie scientifique de la France.

**Plus d'informations :** [www.cirad.fr](http://www.cirad.fr)

## INRAE

INRAE, l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement, est un acteur majeur de la recherche et de l'innovation créé le 1er janvier 2020. Institut de recherche finalisé issu de la fusion entre l'Inra et Irstea, INRAE rassemble une communauté de 12 000 personnes, avec 273 unités de recherche, service et expérimentales implantées dans 18 centres sur toute la France. L'institut se positionne parmi les tout premiers organismes de recherche au monde en sciences agricoles et alimentaires, en sciences du végétal et de l'animal, et en écologie-environnement. Il est le premier organisme de recherche mondial spécialisé sur l'ensemble « agriculture-alimentation-environnement ». INRAE a pour ambition d'être un acteur clé des transitions nécessaires pour répondre aux grands enjeux mondiaux. Face à l'augmentation de la population, au changement climatique, à la raréfaction des ressources et au déclin de la biodiversité, l'institut construit des solutions pour des agricultures multi-performantes, une alimentation de qualité et une gestion durable des ressources et des écosystèmes.

**Plus d'informations :** [www.inrae.fr](http://www.inrae.fr)

## CGIAR

CGIAR est un partenariat mondial de recherche pour un avenir sans faim. La science du CGIAR s'intéresse à la transformation des systèmes alimentaires, terrestres et aquatiques dans un contexte de crise climatique. Les 13 centres de recherche du CGIAR mènent des recherches en étroite collaboration avec des centaines de partenaires issus d'instituts de recherche nationaux et régionaux, d'organisations de la société civile, d'universités, d'organismes de développement et du secteur privé.

**Plus d'informations :** [www.cgiar.org](http://www.cgiar.org)

Nouvelle stratégie de recherche et d'innovation 2030 du CGIAR : <https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/110918/OneCGIAR-Strategy.pdf>

## IRD

**Institut de recherche pour le développement, un acteur majeur de la science du développement durable**

L'IRD est un établissement public français qui porte une démarche originale de recherche, d'expertise, de formation et de partage des savoirs au bénéfice des territoires et pays du Sud qui font de la science et de l'innovation un des premiers leviers de leur développement. Les priorités de l'IRD s'inscrivent dans la mise en œuvre, associée à une analyse critique, des Objectifs de développement durable (ODD) adoptés en septembre 2015 par les Nations unies, avec pour ambition d'orienter les politiques de développement et de répondre aux grands enjeux liés aux changements globaux, environnementaux, économiques, sociaux et culturels qui affectent la totalité de la planète.

**Plus d'informations :** [www.ird.fr](http://www.ird.fr)

# Éditorial

Il est d'usage que le Président d'Agropolis International rédige l'éditorial qui ouvre chacun des Dossiers. Compte tenu du sujet, j'ai également le plaisir et l'honneur de le signer en tant que membre du Conseil d'Administration du One CGIAR. En effet, l'année où les Nations Unies organisent un Sommet sur les Systèmes Alimentaires et à l'aube d'une réforme radicale de CGIAR en One CGIAR visant à positionner ce dispositif mondial de premier plan pour mieux répondre aux enjeux posés par les Objectifs du développement durable, je me réjouis d'ouvrir un Dossier entièrement consacré aux recherches et aux partenariats en agroécologie. Quel bel engagement dont je félicite les initiateurs ! Car c'est bien là pour moi une des voies centrales pour rendre nos systèmes alimentaires durables. Nous l'avions déjà identifié quand, au Groupe d'Experts de Haut Niveau (HLPE) du Comité des Nations Unies pour la Sécurité Alimentaire que j'avais l'honneur de présider à l'époque, nous avons publié en 2019 le rapport « Approches agroécologiques et autres approches novatrices pour une agriculture et des systèmes alimentaires durables propres à améliorer la sécurité alimentaire et la nutrition ». C'est bien parce qu'il s'agit là d'approches essentielles pour le futur de la planète que, avec le changement climatique et les systèmes alimentaires durables, l'agroécologie figure parmi les trois priorités du Plan d'Action signé le 4 février 2021 par le gouvernement français et pour One CGIAR, par Marco Ferroni, le président de son Conseil d'Administration.

Je suis impressionné par la qualité et le nombre des contributions qui structurent les trois parties de cet important document, provenant de chercheurs des établissements français comme de ceux du CGIAR, le plus souvent en collaboration. Je le suis également par le nombre des auteurs provenant des quelques 70 établissements partenaires et d'organisations démontrant l'engagement de tous les acteurs, au-delà de la recherche, dans les travaux scientifiques en agroécologie. Cela confirme bien à quel point cette thématique implique aujourd'hui plusieurs centaines de chercheurs, de représentants des administrations, d'agents des services de développement, d'organisations professionnelles agricoles, de travailleurs des mondes associatifs sur l'ensemble des continents.

Les pages qui suivent illustrent la diversité des travaux réalisés dans les champs, dans les territoires, dans le domaine des politiques. Ils montrent également tout ce qui reste à faire, ensemble je le souhaite !

**Patrick Caron**

Président d'Agropolis International  
Membre du Conseil d'Administration de One CGIAR

# Préface

**N**ous sommes heureux de préfacier ce dossier, vaste et solide panorama des connaissances en matière d'agroécologie. Nous espérons qu'il fera date dans le domaine de la recherche, recherche qui doit contribuer activement à la transformation que nous appelons de nos vœux vers des systèmes alimentaires durables.

Les éclairages apportés par ce dossier illustrent scientifiquement les principes de l'agroécologie. Ils témoignent de la dynamique suscitée par ce concept, à l'échelle internationale et tout particulièrement en France, où les établissements de recherche agronomique et d'enseignement supérieur agricole ont investi cette voie de recherche, avec le soutien des ministères, qui considèrent l'agroécologie comme un levier d'action déterminant face aux enjeux de sécurité alimentaire et de préservation des ressources dans le contexte du changement climatique.

L'agroécologie est promue en France par la Loi d'avenir de 2014, et en Europe dans les discussions autour de la PAC et du Green Deal. Au plan international, la France à travers sa politique et ses instruments de coopération est mobilisée, avec ses partenaires, notamment au sein des trois agences romaines (FAO, PAM, FIDA) et du Comité de la sécurité alimentaire mondiale (CSA), ou encore dans le cadre de projets de développement tel que l'Accélérateur de la Grande muraille verte pour le Sahel. Le dialogue à ces différentes échelles montre toutefois que nos interlocuteurs n'identifient pas toujours les contenus scientifiques que recouvre l'agroécologie.

## **Philippe Lacoste**

Directeur du Développement durable  
Ministère de l'Europe et des Affaires  
étrangères, France

## **Valérie Baduel**

Directrice Générale de l'Enseignement  
et de la Recherche  
Ministère de l'Agriculture et de  
l'Alimentation, France

## **Claire Giry**

Directrice Générale de la Recherche  
et de l'Innovation  
Ministère de l'Enseignement supérieur,  
de la Recherche et de l'Innovation, France

C'est pourquoi la collaboration entre nos organismes de recherche et CGIAR était particulièrement bienvenue pour expliciter les fondements et questionnements scientifiques liés à ce concept. Nous remercions tous les scientifiques qui y ont contribué et nous nous félicitons que leur travail collectif puisse être partagé largement à travers ce dossier.

Cette publication s'inscrit dans le cadre du plan d'action entre CGIAR et la France, heureuse d'accueillir le siège de cette organisation internationale à Montpellier, au cœur de l'une des plus importantes concentrations d'établissements de recherche et d'enseignement agronomique dont le Cirad, l'IRD et INRAE, depuis longtemps liés à CGIAR. Nous souhaitons que cet ancrage permette de renforcer les partenariats entre CGIAR et la recherche agronomique française pour contribuer à relever ensemble les défis du développement durable. Dans cette perspective, la France salue la réforme ambitieuse de One CGIAR et la place donnée aux approches systémiques telles que l'agroécologie, et se réjouit de pouvoir poursuivre un dialogue riche et stimulant, au bénéfice de la communauté internationale.

**A**ujourd'hui, il est plus important que jamais que nos systèmes alimentaires, terrestres et aquatiques puissent faire face de façon efficace aux menaces environnementales du changement climatique, de la dégradation des sols, de la perte de biodiversité, de l'épuisement et de la contamination des ressources en eau et en sol. Ces systèmes doivent être transformés. Mais nous devons veiller à ce que cette transformation – encore une intervention humaine – n'induisse pas de dommages irréversibles à notre planète, ne favorise pas une mauvaise alimentation et n'exacerbe pas les inégalités sociales et économiques. La recherche agricole pour le développement et l'innovation doit tenir compte de la multitude de liens qui existent entre l'agriculture, les systèmes alimentaires, et les systèmes aquatiques et terrestres. La nature complexe et interdépendante de ces défis nécessite que la recherche agricole apporte des solutions tout autant interdépendantes que systémiques. Ainsi, les interventions sur les systèmes alimentaires doivent s'intéresser à toutes les « pièces du puzzle », de la production agricole jusqu'aux comportements des consommateurs. Des systèmes alimentaires qui préservent la planète, des systèmes terrestres et aquatiques qui soutiennent la production alimentaire, des systèmes alimentaires qui nourrissent et alimentent les populations, des populations qui bénéficient équitablement de systèmes alimentaires, terrestres et aquatiques résilients : tels sont des objectifs universels. Nous avons aujourd'hui une occasion exceptionnelle de nous rapprocher de ces objectifs en unissant nos efforts sur de multiples secteurs et systèmes alimentaires, terrestres et aquatiques.

La stratégie de recherche et d'innovation 2030 du CGIAR répond à cette demande de transformation des systèmes alimentaires, terrestres et aquatiques à travers un programme de recherche ambitieux qui utilise l'innovation fondée sur la science pour favoriser les avancées à de multiples échelles – de l'innovation génétique en laboratoire jusqu'à la production agricole dans les champs, en passant par le réseau complexe de politiques et d'accords au niveau du système – et dans cinq domaines d'impact, à savoir : (i) Nutrition, santé et sécurité alimentaire ; (ii) Réduction de la pauvreté, moyens de subsistance et emploi ; (iii) Égalité des sexes, jeunesse et inclusion sociale ; (iv) Adaptation et atténuation du changement climatique ; et (v) Santé environnementale et biodiversité.

Transformer les systèmes alimentaires, terrestres et aquatiques nécessite d'adopter une utilisation circulaire des ressources naturelles, de stimuler la santé de l'environnement et des écosystèmes en lien avec la productivité, de diversifier les systèmes agricoles et alimentaires et d'encourager une alimentation humaine saine. Ces améliorations doivent aller de pair avec un partage plus équitable des bénéfices entre les hommes, les femmes et les jeunes, le respect des cultures et des valeurs plurielles portées par ces systèmes, et davantage de co-crédation de connaissances avec nos partenaires. Ces principes seront pleinement intégrés aux différentes solutions explorées par nos systèmes de recherche agricole. Ces principes s'alignent également sur ceux de l'agroécologie qui appellent à une re-conception de nos systèmes alimentaires, terrestres et aquatiques, de la ferme à la table, afin d'atteindre simultanément la durabilité écologique, économique et sociale.

Cette publication illustre les compétences pluridisciplinaires et le réseau mondial de partenaires du CGIAR et des organismes de recherche français œuvrant au processus de transformation des systèmes agricoles et alimentaires pour que ces derniers adoptent les principes agroécologiques essentiels dans différents contextes. Cette publication montre également la formidable opportunité à venir d'intégrer davantage ces différentes disciplines dans les recherches transdisciplinaires pour tenter de répondre aux défis auxquels sont confrontés nos systèmes alimentaires, terrestres et aquatiques au XXI<sup>e</sup> siècle.

**Claudia Sadoff**

Responsable de l'équipe de direction  
Directrice Générale, Recherche et Impact, CGIAR

# Transformations pour des systèmes

p. 3  
Éditorial

p. 4-5  
Préface

p. 8  
Introduction

## p. 11 Partie 1 - Agroécosystèmes

p. 12  
**Chap 1. Améliorer l'efficacité des pratiques pour réduire l'utilisation des intrants coûteux, rares ou nuisibles à l'environnement**

- Maintenir les plantes en bonne santé
- Exploiter la diversité génétique
- Améliorer les processus post-récolte
- Exemples intégrés

p. 28  
**Chap 2. Substituer l'utilisation intensive d'intrants par les fonctions écosystémiques issues de la biodiversité**

- Régulation biologique des ravageurs et des maladies
- Réduire la dépendance à des intrants coûteux
- Substituer les intrants les plus nocifs pour l'environnement

p. 50  
**Chap 3. Reconcevoir des agroécosystèmes fondés sur un ensemble de processus écologiques de la ferme au paysage**

- Améliorer les interactions biologiques
- Renforcer l'agroforesterie et ses services écosystémiques
- Renforcer la complémentarité culture-élevage
- Prendre en compte l'échelle du paysage
- Renforcer la résilience par les services écosystémiques



# agroécologiques alimentaires durables

p. 79

## Partie 2 - Systèmes alimentaires

p. 80

**Chap 4. Identifier et surmonter les contraintes au sein des systèmes alimentaires pour des transitions agroécologiques à grande échelle**

- Environnement économique des exploitations et des systèmes de production agricole
- Conditions pour l'innovation dans les exploitations et les systèmes agricoles
- Rôle des marchés pour rapprocher producteurs et consommateurs
- Effet de levier des objectifs nutritionnels et des traditions alimentaires pour l'agroécologie
- Conception de systèmes alimentaires territoriaux

p. 104

**Chap 5. Construire un nouveau système alimentaire mondial fondé sur l'équité, la participation, la démocratie et la justice**

- Améliorer les chaînes de valeur par l'agroécologie
- Agir collectivement, créer des connaissances, lier produits et territoires
- Modèles commerciaux et financements innovants

p. 123

## Partie 3 - Processus clés, méthodes et outils pour l'agroécologie

- Mobiliser la connaissance des processus écologiques pour l'agroécologie
- Des méthodes et des outils pour améliorer les pratiques agricoles et la gestion du paysage
- Des méthodes et des outils d'évaluation et d'apprentissage pour transformer les agroécosystèmes
- Les *living labs*, facilitateurs de transformation des chaînes agri-alimentaires
- L'apport du numérique à l'agroécologie

p. 144-145

Liste des acronymes et abréviations

p. 146

Organisations françaises, Centres et programmes CGIAR et partenaires impliqués dans ce Dossier

# Introduction

Ce 26<sup>e</sup> dossier d'Agropolis International est l'un des numéros spéciaux de cette série dédiés au partenariat, comme le dossier n°15, qui avait fait en 2012 le bilan de dix années d'activités du laboratoire sans murs (Labex) Europe de l'Embrapa (*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária*), ou le n°22 sur les agricultures familiales en Argentine, au Brésil et en France (2016). Ce dossier illustre le dynamisme de la recherche et l'importance des compétences sur les transitions agroécologiques tant au sein des instituts de recherche français que dans les Centres du CGIAR, en collaboration avec de nombreux partenaires du monde entier.

Cette initiative prend place dans le cadre du plan d'action signé par CGIAR et le gouvernement français le 4 février 2021, dont l'objectif est de renforcer la collaboration française avec CGIAR et dans lequel l'agroécologie est l'une des trois priorités thématiques, avec le changement climatique, la nutrition et les systèmes alimentaires. L'agroécologie est une priorité en France depuis la Loi d'avenir sur l'agriculture, l'alimentation et la forêt (2014), ainsi qu'au travers de la politique de développement international de la France pour les pays du Sud. C'est aussi une priorité en Europe dans le cadre du *Green Deal* (notamment avec la stratégie « *Farm to fork* »), avec notamment la construction d'un partenariat européen sur l'agroécologie. Au cours de ces dernières années, CGIAR a mené, souvent en coopération étroite avec des organismes de recherche français, des recherches pour le développement avec ses partenaires du Sud sur de nombreux aspects liés à l'agroécologie, des pratiques agricoles plus durables jusqu'aux modèles commerciaux plus inclusifs et, plus récemment, sur les stratégies de consommation alimentaire responsable.

Les membres du comité éditorial soulignent la pertinence de ce domaine de recherche pour le développement dans le contexte de la réforme actuelle de CGIAR vers un « One CGIAR » qui vise à mobiliser et concentrer ses forces de recherche et ses partenariats pour satisfaire les objectifs de développement durable (ODD), tout particulièrement, autour des cinq *impact areas* identifiés dans sa *Stratégie de la recherche et de l'innovation 2030* publiée fin 2020 : (i) Nutrition, santé et sécurité alimentaire ; (ii) Réduction de la pauvreté, moyens de subsistance et emplois ; (iii) Égalité des genres, jeunesse et inclusion sociale ; (iv) Adaptation et atténuation du climat ; et (v) Santé environnementale et biodiversité. Il s'agit de relier ces différents éléments dans une approche holistique et transformatrice des systèmes alimentaires, au-delà des centres d'intérêt habituels des équipes de recherche de CGIAR sur la production agricole.

Selon l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), « L'agroécologie est une approche intégrée qui applique concomitamment des notions et des principes écologiques et sociaux à la conception et à la gestion des systèmes alimentaires et agricoles. Elle vise à optimiser les interactions entre les végétaux, les animaux, les humains et l'environnement, sans oublier les aspects sociaux dont il convient de tenir compte pour qu'un système alimentaire soit durable et équitable »<sup>(1)</sup>. La transition agroécologique vise ainsi à mieux tirer profit des biens et services rendus par la nature tout en minimisant les impacts environnementaux négatifs de l'agriculture, et d'améliorer les liens entre agriculteurs et consommateurs, par des relations inclusives entre les acteurs des systèmes alimentaires et par la co-création de connaissances avec les acteurs de la recherche.

L'urgence de la transformation agroécologique des systèmes agricoles et alimentaires dans la perspective des ODD a été l'un des éléments qui a changé la donne lors des discussions du **Sommet des Nations unies sur les systèmes alimentaires** en 2021, notamment avec le lancement de la coalition pour la transformation des systèmes alimentaires au moyen de l'agroécologie. En outre, la prise en compte des systèmes agricoles et alimentaires contribuera également aux **agendas 2030** en cours de préparation en 2021 sur le climat (COP 26 de la CCNUCC\*), les terres (COP 15 de la CNULD\*) et la biodiversité (COP 15 de la CDB\*). Il est clair que la diversité des systèmes agricoles et alimentaires sur cette planète requiert une variété de voies de transition agroécologique (différentes références, différents niveaux d'utilisation d'intrants, différents contextes

socio-économiques notamment de coûts et de disponibilités de main-d'œuvre agricole, différents arrangements de la chaîne de valeur et intégration entre agriculteurs et consommateurs, différentes préférences des consommateurs dans les systèmes alimentaires). Elle présage également d'une diversité des actions publiques nécessaires (niveaux de subventions pour inciter au changement, mise en œuvre de politiques dans différents secteurs, recherche et formation, etc.). Malgré cette diversité, il existe des points communs dans la compréhension de la biologie, de l'écologie et de la socio-économie des agroécosystèmes et de leur fonctionnement, ainsi que dans la manière de gérer les risques, y compris ceux liés au changement climatique, ou dans la façon dont les agroécosystèmes contribuent au fonctionnement des systèmes alimentaires.

**Des leçons doivent être tirées** des trajectoires passées dans les pays du Nord et ailleurs dans le monde. Ces enseignements permettront d'éviter la simplification imposée par les modèles agricoles conventionnels, tout en mettant en lumière les pièges à éviter par la prise en compte d'asymétries de pouvoir socio-économique et en promouvant le développement de systèmes coopératifs inclusifs.

**Ces transformations doivent être étroitement adaptées aux contextes initiaux qui varient considérablement selon les régions et les pays.** La transformation agroécologique ne peut pas être identique partout. En effet, dans certaines régions du monde où l'utilisation d'intrants inorganiques et de pesticides est généralement faible, voire inexistante, et où l'eau disponible est très rare, la priorité est souvent d'améliorer l'accès et l'utilisation de ces intrants afin de stimuler la production et la productivité. L'agroécologie est pertinente même dans ces conditions et peut apporter des solutions tout en minimisant les impacts environnementaux. Toute décision visant à accroître l'utilisation d'intrants doit s'efforcer de trouver un équilibre entre les gains de productivité à court terme et les gains de résilience, de santé environnementale et de durabilité à plus long terme. Les rapports entre intensification durable et transformation agroécologique apparaissent ainsi comme un sujet d'analyse.

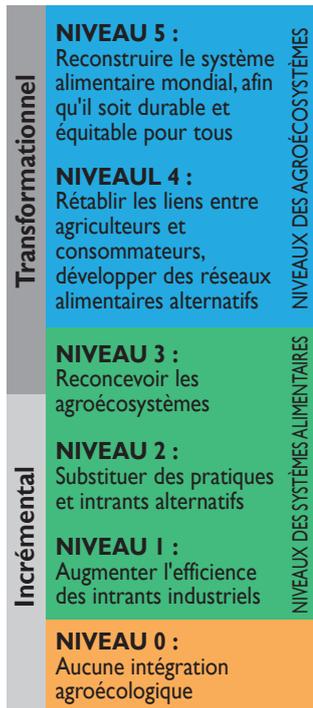
Ces questions ont conduit des chercheurs du CGIAR et d'instituts de recherche français à collaborer à la réalisation de ce dossier afin de **mettre leurs compétences et les avancées de leurs recherches à la disposition d'autres chercheurs, des décideurs, des services de formation, des ONG et associations d'agriculteurs** engagés dans la promotion de la transition agroécologique. Ce processus de transition nécessite d'explorer et de soutenir de nouvelles façons de mener des recherches fondées sur des approches systémiques et transdisciplinaires. Il s'agit ainsi de mettre en œuvre des méthodes participatives inclusives, de concevoir des théories du changement basées sur les solutions, de favoriser les partenariats avec les systèmes nationaux de recherche agricole, tout en **améliorant la coordination des efforts de recherche, de politiques et d'investissement, pour aller vers des systèmes alimentaires durables et résilients.**

Dans ce dossier, nous mettons l'accent sur des recherches menées sur la base de ces principes. Les résultats de recherche présentés ont été obtenus dans le cadre de programmes récents et de projets de recherche axés sur la conception et la mise en œuvre dans différentes régions du monde de systèmes alimentaires véritablement durables, c'est-à-dire équitables tant pour les producteurs que pour les consommateurs. Pour cela, nous avons mobilisé les différents niveaux de transition des systèmes alimentaires identifiés par Stephen Gliessman (2016) que nous avons croisés avec les 10 éléments de la FAO pour l'agroécologie et les 13 principes énoncés dans le rapport du Groupe d'experts de haut niveau sur la sécurité alimentaire et la nutrition (HLPE) sur les approches agroécologiques et les autres approches innovantes pour une agriculture et des systèmes alimentaires durables qui améliorent l'environnement, la sécurité alimentaire et la nutrition (2019).

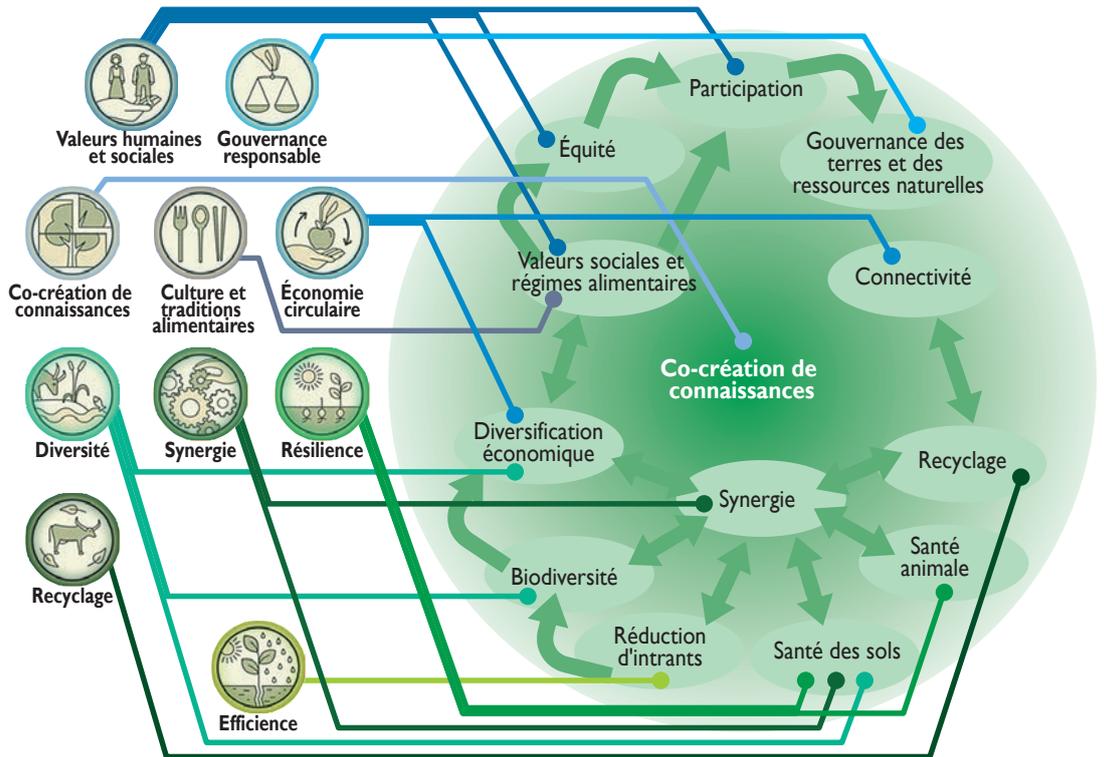
\* CBD : Convention sur la diversité biologique  
COP : Conférence des Parties  
CNULD : Convention des Nations unies sur la lutte contre la désertification  
CCNUCC : Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques

(1) FAO, 2018. Les 10 éléments de l'agroécologie. Guider la transition vers des systèmes alimentaires et agricoles durables, <https://www.fao.org/publications/card/en/c/19037FR/>

## Les 5 niveaux de Gliessman



## Les 10 éléments de la FAO



## Les 13 principes du HLPE

▲ Liens entre les 10 éléments de la FAO, les 5 niveaux de transition des systèmes alimentaires de Gliessman et les 13 principes du HLPE. Correspondance adaptée de Wezel et al., 2020. *Agroecological principles and elements and their implications for transitioning to sustainable food systems. A review. Agronomy for Sustainable Development, (2020)40: 40.*

Ce dossier est organisé en trois parties principales : les deux premières – agroécosystèmes et systèmes alimentaires – reprennent les niveaux d'organisation proposés par Gliessman, et la troisième partie présente des résultats de recherche transversaux, davantage orientés vers les méthodologies et les outils.

## Partie 1 - Agroécosystèmes

### 1. Améliorer l'efficacité des pratiques pour réduire l'utilisation des intrants coûteux, rares ou nuisibles à l'environnement

Ce chapitre traite du premier niveau de transformation de Gliessman qui vise à augmenter l'efficacité des intrants et de l'utilisation de ressources naturelles. Il présente les résultats de recherches conduites dans divers pays pour améliorer l'efficacité de l'utilisation des ressources (sol, eau), tout en réduisant le recours aux intrants chimiques et l'empreinte environnementale des systèmes de production et des traitements post-récolte. Les recherches sur les processus complexes (cycles des nutriments, actions des organismes du sol, protection des cultures), et sur les avantages des démarches de recherche participative dans les programmes de sélection variétale et d'amélioration génétique, sont également abordées. Ce chapitre illustre également le principe de « co-création de connaissances ».

### 2. Substituer l'utilisation intensive d'intrants par les fonctions écosystémiques issues de la biodiversité

Ce chapitre s'intéresse à l'amélioration des performances des cultures par le renforcement des fonctions écosystémiques induites par l'agrobiodiversité. Ce processus dit « d'intensification écologique » augmente la production de biomasse en améliorant les cycles des nutriments et de l'eau et en luttant contre les ravageurs et les maladies, tout en limitant au strict minimum l'utilisation d'intrants. Ce processus s'inscrit dans le deuxième niveau de transition de Gliessman et concerne essentiellement les systèmes de culture.

### 3. Reconcevoir des agroécosystèmes fondés sur un ensemble de processus écologiques de la ferme au paysage

Ce chapitre s'intéresse à la reconception, la mise en place et la gestion d'agroécosystèmes différents des systèmes actuels. Ce processus de reconception induit une véritable rupture avec le passé et nécessite un changement de long terme. Il vise souvent un objectif spécifique (moins dépendance aux pesticides et à l'eau, travail et bien-être, adaptation au changement climatique, qualité des paysages et préservation de la biodiversité, etc.). Il s'efforce également de reconsidérer l'ensemble des fonctions et des services agro-écosystémiques, leur durabilité et leur résilience en réponse à la nature très variable des contraintes externes (climat, prix, etc.). Ce processus de reconception peut prendre place dans une exploitation agricole ou dans un paysage, dans le cadre d'une gestion collective ou d'un projet territorial plus large impliquant d'autres acteurs que les agriculteurs.

## Partie 2 - Systèmes alimentaires

### 4. Identifier et surmonter les contraintes au sein des systèmes alimentaires pour des transitions agroécologiques à grande échelle

Le développement, la mise en œuvre et le déploiement des pratiques agroécologiques nécessitent un environnement favorable et approprié, mais aussi un dépassement des contraintes structurelles qui « enferment » les agriculteurs dans des modèles conventionnels d'amélioration agricole, ce qui induit nécessairement des changements fondamentaux dans la façon dont les systèmes alimentaires sont organisés et fonctionnent.

Ce chapitre s'intéresse à l'identification et aux façons de surmonter les contraintes au sein des systèmes agricoles, alimentaires et fonciers, afin de réussir des transitions agroécologiques à grande échelle. Cinq questions principales sont abordées : (i) l'environnement économique lié aux chaînes de valeur, aux marchés et aux réglementations ; (ii) l'environnement de l'innovation ; (iii) le rôle des marchés pour rapprocher producteurs et consommateurs ; (iv) l'effet de levier des objectifs nutritionnels et des traditions alimentaires pour l'agroécologie ; et (v) la conception de systèmes alimentaires territoriaux.

## 5. Construire un nouveau système alimentaire mondial fondé sur l'équité, la participation, la démocratie et la justice

Ce chapitre aborde les transformations profondes des chaînes de valeur, des modèles commerciaux et des financements, ainsi que des dynamiques socio-économiques dans les territoires, qui résultent d'approches agroécologiques mises en œuvre dans un éventail varié de situations et avec une diversité d'acteurs du système alimentaire. Ces transformations se traduisent par des changements d'interactions entre acteurs des systèmes agricoles et alimentaires qui sont propices à des systèmes plus respectueux de l'environnement et plus équitables, pour le bénéfice mutuel des producteurs et des consommateurs.

### Partie 3 - Processus clés, méthodes et outils pour l'agroécologie

Cette partie transversale illustre comment la France et CGIAR contribuent à des connaissances agronomiques et écologiques essentielles, ainsi qu'à des méthodes et outils de recherche pour contribuer à la transformation des systèmes actuels en des systèmes de production, chaînes de valeur et territoires favorables à l'agroécologie. Ces travaux couvrent différentes échelles spatiales et font appel aux sciences humaines et sociales, à l'écologie et à la biotechnologie. Ce chapitre présente des recherches menées - souvent de manière transdisciplinaire - au sein d'institutions (nationales ou internationales) et d'infrastructures de recherche, avec la participation des parties prenantes, ainsi que des initiatives sociales locales ou nationales qui favorisent la transition des systèmes agroalimentaires.

Près de 500 scientifiques et experts de l'agroécologie, français et étrangers, et travaillant au sein de, ou en partenariat avec, les centres de CGIAR, les organismes de recherche français (Cirad, INRAE et IRD entre autres), et plus d'une centaine d'universités et d'instituts de recherche nationaux et internationaux, sont impliqués dans ce dossier.

Ce dossier ne se veut pas exhaustif et d'autres publications notables auraient pu être mentionnées comme, par exemple, le *Mémento pour l'évaluation de l'agroécologie* publié en 2019 par un collectif d'ONG françaises\*. Les exemples de recherche présentés reflètent la diversité et le dynamisme de la recherche scientifique et technologique aux niveaux national et international. Il montre également que les partenariats de recherche entre CGIAR et les institutions françaises sont non seulement nombreux et productifs mais suscitent également des partenariats, multiples et ouverts, avec de nombreuses autres institutions de recherche, notamment les systèmes nationaux de recherche agricole (SNRA).

\* voir le *Mémento pour l'évaluation de l'agroécologie* (Groupe de travail sur les transitions agroécologiques, 2019) : [www.fao.org/agroecology/database/detail/fr/c/1197691/](http://www.fao.org/agroecology/database/detail/fr/c/1197691/)

## De nouvelles questions et de nouvelles façons de faire de la recherche

Les approches agroécologiques s'accompagnent de nouvelles questions de recherche. La recherche agricole doit affronter un ensemble d'objectifs plus riche et plus complexe qu'auparavant lorsque les questions de rendement dominaient l'agenda : changer de vision sur les systèmes alimentaires, aborder la multifonctionnalité de l'agriculture, respecter les écosystèmes et mobiliser la nature et ses ressources, notamment la biodiversité et ses fonctions. Ceci implique de redonner une priorité à des questions trop souvent négligées par le passé. Il s'agit notamment de la biodiversité des sols, de la santé des écosystèmes, de l'optimisation des fonctions à l'échelle de la parcelle et du paysage, etc. En outre, l'agroécologie est liée à des principes tels que l'équité, les valeurs sociales, les régimes alimentaires, la gouvernance foncière et des ressources locales, ce qui implique que la recherche s'intéresse aux questions liées à l'organisation du travail et des marchés, aux interactions entre acteurs, aux mécanismes de changement des comportements, à l'inclusion sociale, aux politiques publiques, à la répartition de la valeur ajoutée le long de chaînes de valeur, etc.

Les approches agroécologiques impliquent également de nouvelles façons de mener des recherches et de contribuer à l'innovation, comme mentionné dans le « Call for action for agroecological transition of agri-food systems »<sup>(2)</sup>. La transformation agroécologique nécessite des innovations technologiques et institutionnelles, basées sur l'hybridation des connaissances scientifiques avec les compétences et les savoirs des acteurs locaux. Elle nécessite aussi des politiques publiques, ainsi que des infrastructures et des moyens. La transformation agroécologique dépend de chaque contexte, ce qui implique de multiples solutions et voies de transformation. Les systèmes d'innovation locaux y jouent donc un rôle essentiel. La recherche doit ainsi produire des connaissances pour alimenter ces systèmes d'innovation locaux grâce à de nouveaux modes de coopération avec les parties prenantes, notamment les décideurs politiques. Par conséquent, il faut plus encore tenir compte de la complexité du fonctionnement des agroécosystèmes dans un large éventail de situations et de contextes, en reliant les questions biologiques, techniques et sociopolitiques, et en utilisant une recherche inclusive, systémique, participative, inter- et transdisciplinaire. Ce sont quelques-unes des ambitions de la Transformative Partnership Platform on Agroecology (TPP)<sup>(3)</sup> née en 2021 d'une initiative construite conjointement par les instituts de recherche français et CGIAR.

**Kwesi Atta-Krah** (IITA)  
**Jean-Luc Chotte** (IRD)  
**Chantal Gascuel** (INRAE)  
**Vincent Gitz** (CIFOR)  
**Étienne Hainzelin** (Cirad)  
**Bernard Hubert** (INRAE, Agropolis International)  
**Marcela Quintero** (Alliance of Bioversity International and CIAT)  
**Fergus Sinclair** (ICRAF)

(2) « Appel à l'action pour la transition agroécologique des systèmes agroalimentaires », Conclusions d'un atelier de travail France-CGIAR « Relever le défi de la transition agroécologique par la recherche agricole pour le développement/ Stepping up to the challenge of agroecological transition through agricultural research for development », qui s'est tenu à Montpellier les 19 et 20 juin 2019. <https://www.foreststreesagroforestry.org/wp-content/uploads/pdf/Call-for-action-for-agroecological-transition-of-Agri-Food-systems.pdf>

(3) <https://glfx.globallandscapesforum.org/topics/21467/page/TPP-home>



# *Partie 1*

## *Agroécosystèmes*

# Chapitre 1

## Améliorer l'efficacité des pratiques pour réduire l'utilisation des intrants coûteux, rares ou nuisibles à l'environnement

La transformation des systèmes alimentaires en systèmes durables par la mise en œuvre de principes agroécologiques sur le terrain impliquant la co-création de connaissances avec les agriculteurs – à la fois acteurs et bénéficiaires de ces transitions – peut être caractérisée selon différents niveaux de transition en fonction d'un gradient de changement, d'incrémental à transformationnel (Gliessman). Ce chapitre traite du **premier niveau de Gliessman**, qui consiste à « améliorer l'efficacité des pratiques industrielles et conventionnelles pour réduire l'utilisation et la consommation des intrants coûteux, rares ou nuisibles à l'environnement ».

Nous y présentons les résultats de recherches conduites dans de nombreux pays pour améliorer l'efficacité d'utilisation des ressources, tout en réduisant le recours à des intrants chimiques et l'empreinte environnementale des systèmes de production et des traitements post-récolte. Ces recherches portent notamment sur des processus complexes (cycles des nutriments et de l'eau, action des organismes du sol, protection des cultures), ainsi que sur les avantages des démarches de recherche participative dans les programmes de sélection variétale et d'amélioration. Parmi les 13 principes agroécologiques du HLP, le « recyclage », la « réduction d'intrants », la « santé des sols » et la « biodiversité », sont mis en avant, ainsi que la « synergie » entre ces

éléments. Ce chapitre illustre également le principe de « co-création de connaissances », où les chercheurs ne sont « ...qu'un acteur clé parmi d'autres » (voir Trouche *et al.*). Il s'organise en trois parties qui illustrent les leviers permettant d'accroître l'efficacité de la production notamment au travers du maintien de la santé des plantes, l'exploitation de la génétique et l'amélioration des traitements post-récolte. Le chapitre se termine par des exemples d'approches qui abordent plusieurs de ces processus partiels de manière intégrée.

**Maintenir les plantes en bonne santé** : l'efficacité d'utilisation de l'azote et de l'eau par les cultures et la lutte contre les ravageurs doivent être améliorées afin de réduire les intrants chimiques sans perte de rendement des cultures, ou d'intensifier la production sans impacts environnementaux négatifs. Les recherches concernent la gestion du potentiel mycorhizien des sols (Duponnois et Prin), l'importance de la richesse biologique des sols dans la nutrition phosphatée des plantes (Trap et Plassard), les multiples effets des inoculums microbiens (Masso *et al.*) et les interactions entre le pois et les *rhizobia* (Bourion *et al.*). Laplaze *et al.* montrent que les traits racinaires sont largement déterminés par le génotype de la plante et ont un impact sur le recyclage des nutriments. Au Vietnam, Herrmann *et al.* montrent qu'un système de culture intercalaire niébé-manioc améliore la santé des sols.

▼ Sélection participative de variétés avec des agriculteurs pilotes. © M. Major



**Exploiter la diversité génétique :** Derero et ses coauteurs présentent les résultats d'une démarche participative visant à renforcer la diversité naturelle d'arbres adaptés à différentes régions agroécologiques en Éthiopie. L'amélioration génétique et la sélection variétale sont des leviers anciens et efficaces pour augmenter les rendements des cultures tout en favorisant l'adaptation aux conditions locales. D'autres contributions présentent les résultats d'approches participatives d'élevage en Inde (Ducrocq et Swaminathan), la valorisation d'espèces d'arbres rarement étudiées pour la diversification des systèmes agroforestiers (Hendre et al.), l'articulation de la sélection participative et des entreprises semencières communautaires (Bassi et al.) et le déploiement de variétés sélectionnées par les agriculteurs (sorgho, orge, riz, maïs, blé) en Éthiopie, en Afrique de l'Ouest, en Amérique centrale et au Népal (Hendre et al. ; Sanchez-Garcia ; Tiwari et Sinclair ; Kidane et al.). Ces travaux illustrent la pertinence d'une démarche multi-acteur reposant sur le développement de techniques de pointe, tout en tenant compte des conditions de terrain et des besoins des agriculteurs. Les impacts sont particulièrement intéressants lorsque cette recherche est menée en partenariat avec le secteur privé.

**Améliorer les processus post-récolte :** les recherches présentées dans cette partie concernent la mise en œuvre de pratiques agroécologiques pour la conservation post-récolte des bananes (Brat) et du maïs grâce à une technologie qui évite l'emploi de pesticides (Odjo et al.). L'objectif est de préserver la qualité des produits.

**Exemples intégrés :** Muthuri et al. montrent que les systèmes agroforestiers au Rwanda, en produisant des tuteurs pour la culture du haricot grimpant, offrent un moyen rentable et durable de stimuler la production de cette culture. Ameer et al. cartographient et analysent les pratiques agroécologiques locales utilisées pour accroître l'efficacité de l'irrigation. Corbeels et Naudin évaluent, à travers une méta-analyse, les effets des différentes composantes de l'agriculture de conservation en Afrique subsaharienne. Enfin, Barnaud et al. suggèrent que la création d'un réseau d'échange de semences en Afrique subsaharienne aiderait les agriculteurs à s'adapter au changement climatique en leur donnant accès à des semences provenant d'autres régions.

**Jean-Luc Chotte** (Eco&Sols, IRD)  
**Fergus Sinclair** (ICRAF, CGIAR)



## Maintenir les plantes en bonne santé

### Maîtriser la gestion du potentiel mycorhizien pour optimiser la productivité des agroécosystèmes

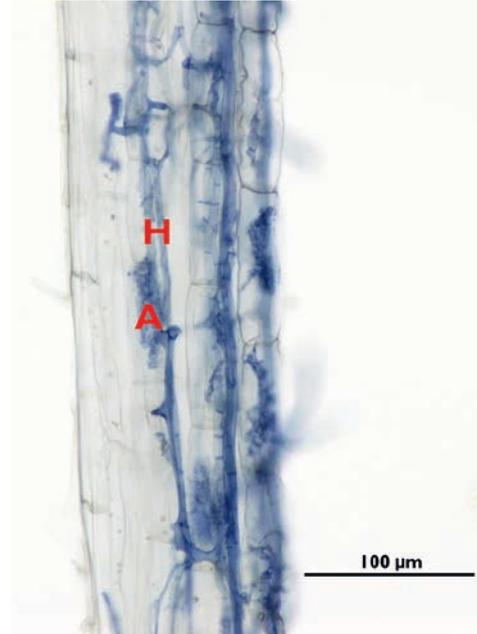
La symbiose mycorhizienne est une association à bénéfices réciproques entre certains types de champignons et les racines des végétaux (photo). Elle représente une composante microbienne majeure dans les mécanismes biologiques régissant la fertilité des sols et la dynamique spatio-temporelle des formations végétales terrestres (diversité, productivité, résilience). De nombreux travaux scientifiques ont démontré que ce processus biologique facilite le développement de la plante dans des milieux sous contraintes abiotiques (carences minérales, pollution aux métaux lourds, déficit hydrique) et/ou biotiques (forte pression parasitaire d'agents phytopathogènes)<sup>(1)</sup>. L'expression de la symbiose au bénéfice du développement des végétaux est dépendante de la composition de la communauté de champignons mycorhiziens dans le sol (abondance et diversité des propagules) : le potentiel infectieux mycorhizogène (PIM) de l'agroécosystème. L'état de dégradation d'un sol est étroitement corrélé à ce PIM (schéma).

En se basant sur les acquis scientifiques concernant ce processus symbiotique, différentes stratégies de gestion du PIM des sols peuvent

être développées en fonction de l'état de dégradation du système à traiter :

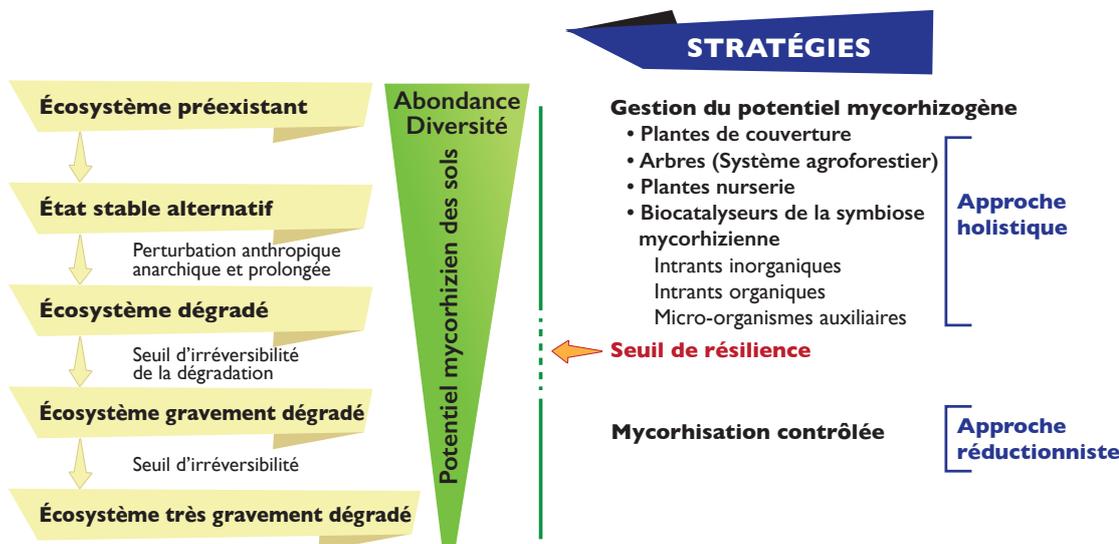
1. si la valeur du PIM est considérée comme élevée pour être redynamisée, une approche « holistique » sera mise en place via l'élaboration d'un couvert végétal hébergeant diverses plantes hautement mycotrophes (ex. légumineuses) ;
2. si la valeur du PIM est faible, l'approche « réductionniste » sera privilégiée en réintroduisant en masse des propagules mycorhiziennes. Une ou plusieurs souches fongiques préalablement sélectionnées en conditions contrôlées pour un paramètre donné (ex. effet de la souche sur la croissance d'une plante ciblée), seront alors inoculées dans le sol.

**De nombreux résultats expérimentaux attestent de l'importance de la composante mycorhizienne dans le contexte d'une agriculture durable ainsi que de la pertinence d'intégrer cette catégorie de micro-organismes dans la conception d'itinéraires culturaux agroécologiques innovants en privilégiant les interactions bénéfiques plantes / micro-organismes.**



▲ Spores et hyphes de champignons mycorhiziens arbusculaires.  
A : arbuscules, H : hyphes

#### RAISONNER LA GESTION DE LA SYMBIOSE MYCORHIZIENNE EN FONCTION DES CARACTÉRISTIQUES DU MILIEU



▲ **Stratégies de gestion du potentiel infectieux mycorhizogène (PIM) en fonction de l'état de dégradation (seuil de résilience) du milieu à réhabiliter.**

*Approche holistique : augmentation du PIM via des vecteurs biologiques (plantes de couverture, plantes nurses, etc.).*

*Approche réductionniste : introduction en masse de propagules mycorhiziennes dans le milieu à traiter (technique de mycorhization contrôlée).*

#### Contacts

Robin Duponnois (LSTM, IRD, France), robin.duponnois@ird.fr  
Yves Prin (LSTM, Cirad, France), prin@cirad.fr

#### Plus d'informations

(1) Ramirez-Flores M.R., Perez-Limon S., et al., 2020. The genetic architecture of host response reveals the importance of arbuscular mycorrhizae to maize cultivation. *eLife*, 9: e61701. <https://doi.org/10.7554/eLife.61701>

(2) Wahbi S., Sanguin H., Baudoin E., Tournier E., Maghraoui T., Prin Y., Hafidi M., Duponnois R., 2016. Managing the soil mycorrhizal infectivity to improve the agronomic efficiency of key processes from natural ecosystems integrated in agricultural management systems. In: Hakeem K. et al. (eds) *Plant, soil and microbes. Volume 1. Implications in crop science*. Springer, Cham: 17-27. [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-27455-3\\_2](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-27455-3_2)

# La source et la mobilité des nutriments dans les sols régulent l'effet de la richesse biologique sur la nutrition de la plante

## Le cas du phosphore

Dans les écosystèmes naturels, la sélection a façonné au cours des temps de multiples et complexes interactions entre les plantes et les organismes des sols afin d'optimiser la mobilisation des nutriments des sols. Comprendre et exploiter ces processus écologiques s'inscrivent dans le défi actuel d'une agriculture à haute intensité écologique, comme l'agroécologie. Cette forme d'agriculture cherche à utiliser de façon durable des processus naturels des sols, en particulier afin d'optimiser un recyclage efficace des nutriments. C'est le cas pour le phosphore (P), un nutriment fondamental pour la croissance des plantes mais souvent peu disponible. Pour faire face à cette carence en P, les racines ont développé la capacité de former une symbiose mutualiste avec les champignons, l'association mycorhizienne. Les racines peuvent également interagir avec les bactéries impliquées dans la minéralisation ou la solubilisation du P favorisant la croissance des plantes. Enfin, les

racines interagissent avec la faune microscopique (protistes et nématodes) qui, en consommant les bactéries et les champignons, libèrent des ions P disponibles pour la plante. Les plantes ont donc de nombreux partenaires dans le sol avec lesquels elles peuvent interagir.

En conduisant un ensemble de six expériences en microcosmes en chambre de culture, nous avons testé l'hypothèse selon laquelle la relation entre la richesse en organismes mutualistes du sol et l'acquisition de P par la plante dépend de la source et de la mobilité du P dans le sol. **Une relation très significative existe entre l'acquisition du P par la plante et la richesse biologique dans un sol à haute capacité d'absorption du P et amendé avec une source de P organique.**

Dans les cinq autres situations, des relations non ou très faiblement significatives ont été observées. Une gestion appropriée de la fertilité du sol et des interactions biotiques impliquant les racines des plantes et les organismes des sols est essentielle pour réussir la transition agroécologique. **Promouvoir la diversité des interactions rhizosphériques pourrait être un moyen prometteur afin d'optimiser la nutrition des plantes cultivées.**



▲ Nématodes bactéricides de la famille des Cephalobidae autour des racines du pin maritime. © Eco&Sols

### Contacts

Jean Trap (Eco&Sols, IRD, France), jean.trap@ird.fr

Claude Plassard (Eco&Sols, INRAE, France), claude.plassard@inrae.fr

### Plus d'informations

• Hinsinger P., Herrmann L., Lesueur D., Robin A., Trap J., Waithaisong K., Plassard C., 2015. Impact of roots, microorganisms and microfauna on the fate of soil phosphorus in the rhizosphere. In: Plaxton V.C., Lambers H. (eds), Phosphorus metabolism in plants, *Annual Plant Reviews*: 377-407.

• Nehls U., Plassard C., 2018. Nitrogen and phosphate metabolism in ectomycorrhizas. *New Phytologist*, 220: 1047-1058.

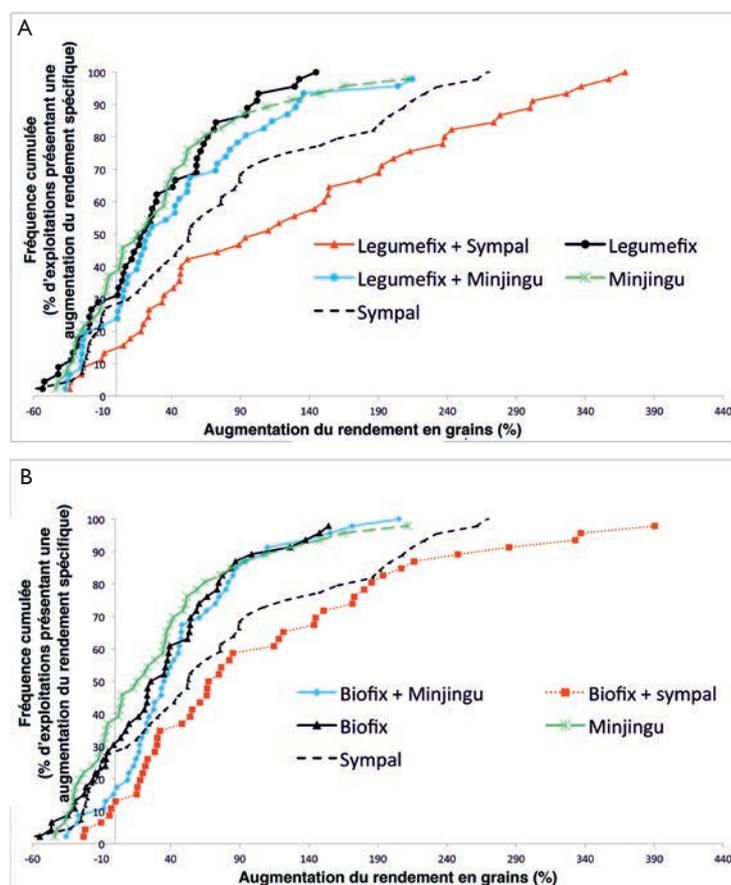
• Trap J., Mahafaka Ranoarisoa P., Irshad U., Plassard C., 2021. Richness of rhizosphere organisms affects plant P nutrition according to P source and mobility. *Agriculture*, 11(2): 157.

• Ranoarisoa P., Trap J., Pablo AL., Dezette D., Plassard C., 2020. Micro-food web interactions involving bacteria, nematodes, and mycorrhiza enhance tree P nutrition in a high P-sorbing soil amended with phytate. *Soil Biology & Biochemistry*, 143: 107728.

# Les inoculums microbiens améliorent l'efficacité des ressources et la résilience des systèmes agricoles

La dégradation des terres agricoles en Afrique subsaharienne, due en partie à une agriculture à faibles intrants, conduit progressivement à un dilemme important. En effet, il est essentiel de trouver des moyens d'accroître la productivité alimentaire pour une population croissante sans mettre en danger les services écologiques, la biodiversité et la qualité des sols. Les conséquences immédiates sont des écarts de rendement importants et les insécurité alimentaire et nutritionnelle qui en découlent. Dans le cadre de la gestion intégrée de la fertilité des sols (GIFS), l'apport d'inoculums microbiens pour améliorer la disponibilité des nutriments, l'efficacité de l'utilisation de l'eau et des nutriments et la santé des plantes, constitue l'une des options les plus viables et rentables pour relever ce défi, en particulier pour les petits exploitants agricoles aux ressources limitées. **Dans les systèmes de culture à base de légumineuses, l'intégration d'inoculums de rhizobiums de haute qualité dans la GIFS peut augmenter la fixation de l'azote par les légumineuses, doubler les rendements de céréales et profiter aux cultures de rotation.**

suiv.



◀ Fréquence cumulée des exploitations ayant signalé une augmentation du rendement en céréales par rapport au traitement témoin après l'application de diverses combinaisons d'engrais et d'inoculums de rhizobium Biofix (A) et Legumefix (B). Adapté de Thuita et al. (2018).

Les inoculums de champignons mycorrhiziens arbusculaires peuvent améliorer la disponibilité du phosphore, réduire la dépendance aux engrais phosphatés (≈ 25-50 %), et améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau dans des cultures comme le manioc, la pomme de terre, etc., en plus de protéger les cultures, comme les bananes, contre les nématodes parasites. Nos études ont révélé que l'apport conjoint de rhizobiums et d'autres inoculums microbiens pour améliorer la disponibilité du phosphore, augmente la performance du soja. L'absorption et l'utilisation des nutriments et de l'eau du sol requièrent un système racinaire sain ; il est alors nécessaire de lutter contre les ravageurs et maladies des racines. *Trichoderma* spp. a un impact significatif dans la lutte contre différentes maladies provenant du sol et contre les nématodes parasites de multiples cultures comme, par exemple, *Phytophthora infestans* pour les tomates, *Fusarium verticillioides* pour le maïs et *Meloidogyne javanica* pour l'ananas. La maladie de la pourriture des racines et les nématodes parasites peuvent avoir

un impact négatif majeur sur les systèmes racinaires de la plupart des cultures, notamment celles de légumineuses. **L'application conjointe de ces inoculums microbiens dans le cadre**

**Contacts**

Cargele Masso (IITA, CGIAR, Cameroun), c.masso@cgiar.org  
 Danny Coyne (IITA, CGIAR, Kenya), d.coyne@cgiar.org  
 Frederick Bajjukya (IITA, CGIAR, Tanzanie), f.bajjukya@cgiar.org

**Autres auteurs**

Amaral Chibeba, Kwesi Atta-Krah, Moses Thuita et Bernard Vanlauwe (IITA, CGIAR, Mozambique, Nigeria, Kenya et Kenya respectivement)

**Plus d'informations**

• Kiriga A.W., Haukeland S., Kariuki G.M., Coyne D., Beek N.V., 2018. Effect of *Trichoderma* spp and *Purpureocillium lilacinum* on *Meloidogyne javanica* in commercial pineapple production in Kenya. *Biological Control*. Doi: 10.1016/j.biocontrol.2018.01.005

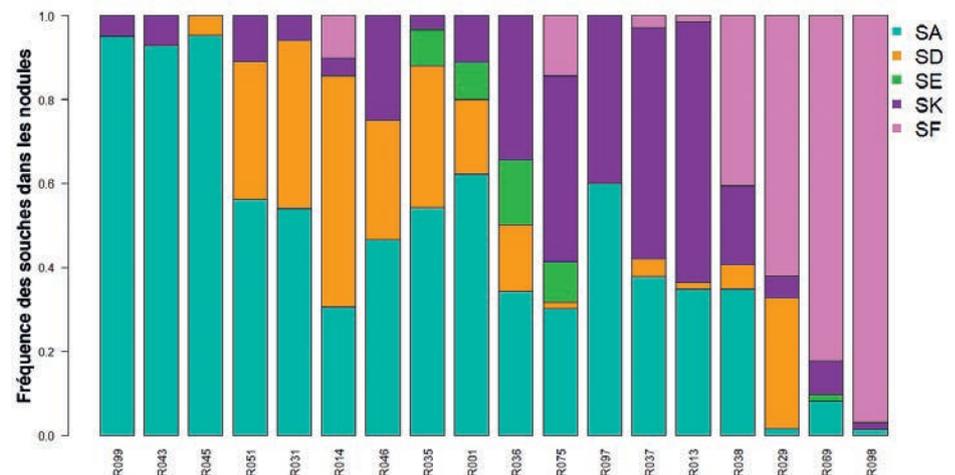
**de la GIFS est très prometteuse pour gérer durablement les sols et la productivité agricole dans tous les contextes agroécologiques, et mérite d'être approfondie.**

- Korir H., Mungai N.W., Thuita M., Hamba Y., Masso C., 2017. Co-inoculation effect of rhizobia and plant growth promoting rhizobacteria on common bean growth in a low phosphorus soil. *Front. Plant Sci.*, 8: 141. Doi: 10.3389/fpls.2017.00141
- Pena R., Robbins C., Corella J.C., Thuita M., Masso C., Vanlauwe B., Signarbieux C., Rodriguez A., Sanders I.R., 2020. Genetically different isolates of arbuscular mycorrhizal fungus *rhizophagus irregularis* induce differential responses to stress in cassava. *Frontiers in Plant Science*: 1-14.
- Thuita M., Vanlauwe B., Mutegi E., Masso C., 2018. Reducing spatial variability of soybean response to rhizobia inoculants in farms of variable soil fertility in Siaya County of western Kenya. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. doi: 10.1016/j.agee.2018.01.007

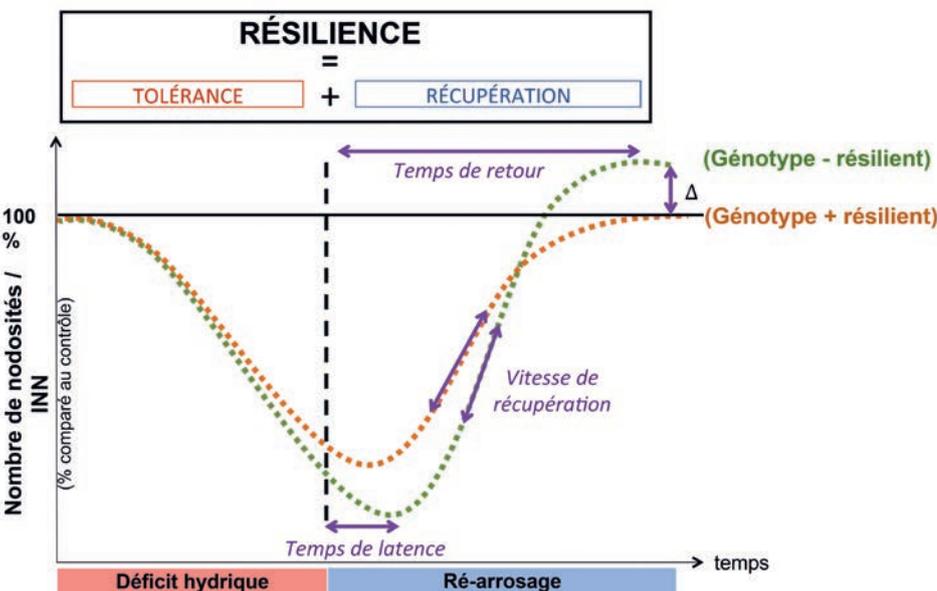
## Des avancées significatives dans les connaissances des interactions bénéfiques entre le pois et les *rhizobia*

Le pois est une culture d'intérêt majeur en agroécologie, par sa production de graines à haute teneur en protéines, ceci sans apport d'engrais azoté grâce à sa symbiose avec les *rhizobia*, bactéries fixatrices d'azote atmosphérique. Cependant, la fixation symbiotique peut être non optimale si les associations entre partenaires symbiotiques sont peu efficaces, ou les conditions environnementales défavorables. Les pois cultivés sont en interaction avec des populations indigènes de souches de rhizobium. Des associations préférentielles s'établissent selon les génotypes de pois avec certaines souches, pouvant être compétitives mais non efficaces (fig.A)<sup>(1,2)</sup>. **Le projet GRaSP<sup>a</sup> a permis l'identification des régions géniques impliquées, ce qui constitue un levier pour la création de variétés de pois productives s'associant préférentiellement avec des souches compétitives et efficaces, présentes dans les sols ou inoculées.**

*suiv.* 



▲ **Figure A.** Les associations entre pois et rhizobia dépendent des génotypes des pois et des souches : variabilité des proportions d'occupation des nodosités par cinq souches (SA, SD, SE, SF, SK) inoculées en mélange chez 18 génotypes de pois. D'après Bourion et al. (2018)



◀ **Figure B.** Le processus de résilience de la culture du pois peut être divisé en tolérance au déficit hydrique et récupération post stress. Les courbes représentent les dynamiques de récupération vis-à-vis de l'acquisition d'azote de deux génotypes. Elles font référence à deux traits : le nombre de nodosités, et l'indice de nutrition azotée (INN). Leur valeur diminue en cas de déficit hydrique et se rétablit pendant la période de ré-arrosage jusqu'à atteindre un plateau. La capacité à récupérer est caractérisée par quatre variables (en violet) : le temps de latence pour initier une récupération, la vitesse de récupération, le temps de retour pour atteindre le plateau et le delta (Δ), différence de la valeur du trait au plateau entre plantes bien arrosées et celles soumises à un déficit hydrique. Pour le génotype le plus résilient (orange), le temps de latence est plus court et la vitesse de récupération plus lente. Le génotype moins résilient (vert), réalise une surcompensation. La comparaison de ces deux génotypes suggère qu'une initiation rapide de la récupération de l'acquisition d'azote, associée à une formation de nodosités finement régulée serait essentielle pour une meilleure résilience. D'après Couchoud et al. (2020).

En complément, la limitation des émissions de gaz à effet de serre liée à la non-utilisation d'engrais azoté pourrait être amplifiée par l'inoculation avec des souches capables de réduire le N<sub>2</sub>O produit à partir du nitrate présent dans les sols. Certaines souches de *rhizobium* nodulant le soja sont capables de réduire le N<sub>2</sub>O<sup>(3)</sup>. Dans le projet NatAdGES\*, des souches de *rhizobium* nodulant le pois et réductrices de N<sub>2</sub>O ont été isolées. **Leur inoculation au champ permettra d'accroître les services écosystémiques rendus par la culture de pois.** Enfin, dans un contexte de changement climatique, les cultures sont soumises à des stress hydriques qui affectent leur productivité. Les résultats des projets Legato\* et Arecover\* permettent de comprendre les processus qui sous-tendent la résilience des relations trophiques entre pois et *rhizobia* (fig. B page précédente) afin de proposer des idéotypes de pois plus productifs en conditions hydriques limitantes<sup>(4)</sup>. **Différents leviers existent désormais pour la prise en compte des interactions biotiques bénéfiques**

**dans les approches de sélection variétale chez le pois, et pour accroître la place de sa culture dans les systèmes agroécologiques.**

**\* Projets**

- Grasp, Genetics of rhizobia selection by pea : <https://anr.fr/Projet-ANR-16-CE20-0021>
- Natadges, Multi-scale avoidances of soil emissions of the greenhouse gas N2O by the use of natural additives or micro-organisms : [www6.inrae.fr/natadges](http://www6.inrae.fr/natadges)
- FP7-Legato, Legumes for the agriculture of tomorrow : [www.legato-fp7.eu](http://www.legato-fp7.eu)
- Plant2Pro® Arecover, Architecture racinaire nodulée et tolérance au stress hydrique chez le pois : [www6.inrae.fr/arecover](http://www6.inrae.fr/arecover)

**Contacts**

- Virginie Bourion (Agroécologie, INRAE, France), [virginie.bourion@inrae.fr](mailto:virginie.bourion@inrae.fr)
- Catherine Hénault (Agroécologie, INRAE, France), [catherine.henault@inrae.fr](mailto:catherine.henault@inrae.fr)
- Marion Prudent (Agroécologie, INRAE, France), [marion.prudent@inrae.fr](mailto:marion.prudent@inrae.fr)

**Plus d'informations**

- (1) Bourion V., Laguerre G., Depret G., Voisin A.S., Salon C., Duc G., 2007. Genetic variability in nodulation and root growth affects nitrogen fixation and accumulation in pea. *Ann. Bot.* 100: 589-598. doi: 10.1093/annbot/mcm147
- (2) Bourion V., Heulin-Gotty K., Aubert V., Tisseyre P., Chabert-Martinello M., Pervent M., Delaitre C., Vile D., Siol M., Duc G., Brunel B., Burstin J., Lepetit M., 2018. Co-inoculation of a pea core-collection with diverse rhizobial strains shows competitiveness for nodulation and efficiency of nitrogen fixation are distinct traits in the interaction. *Frontiers in Plant Science*, 8: 2249. doi: 10.3389/fpls.2017.02249
- (3) Hénault C., Revellin C., 2011. Inoculants of leguminous crops for mitigating soil emissions of the greenhouse gas nitrous oxide. *Plant and Soil*, 346: 289-296. doi: 10.1007/s11104-011-0820-0
- (4) Couchoud M., Salon C., Girodet S., Jeudy C., Vernoud V., Prudent M., 2020. Pea efficiency of post-drought recovery relies on the strategy to fine-tune nitrogen nutrition. *Front. Plant Sci.*, 11: 204. doi: 10.3389/fpls.2020.00204

## Les traits racinaires pour une transition agroécologique

Le système racinaire des plantes explore le sol pour assurer la nutrition hydrominérale de la plante. Le développement et la physiologie racinaire sont régulés par les paramètres physicochimiques et biotiques du sol et, en retour, les racines modifient activement ces paramètres dans le volume de sol qui les entoure : la rhizosphère<sup>(1)</sup>. Malgré son rôle central dans la nutrition de la plante, le système racinaire, peu accessible, a été peu, voire pas, pris en compte en amélioration variétale et dans la définition des pratiques culturales. Par ailleurs, la première Révolution verte, basée sur une utilisation massive d'intrants, a contribué à masquer l'impact des traits racinaires sur le rendement. La connaissance des déterminismes génétiques de ces traits recèle pourtant un double enjeu : (i) mieux explorer le sol pour plus de résilience des cultures aux pénuries hydrominérales et une

meilleure complémentarité des espèces cultivées quant à l'accès aux nutriments ; (ii) mieux maîtriser les interactions entre racines et organismes du sol pour stimuler de façon durable les boucles trophiques gouvernant le cycle des nutriments et ainsi alléger la dépendance aux intrants externes.

À partir de l'exploration de la diversité génétique du mil, nous avons montré que **aussi bien les caractéristiques d'architecture racinaire que celles d'interactions rhizosphériques, présentent une grande variabilité et sont fortement contrôlées par le génotype de la plante<sup>(2,3,4)</sup>.** Par exemple, nous avons montré que le contrôle de l'agrégation

des particules du sol de la rhizosphère par les racines de plantes de mil est un caractère qui impacte la structure<sup>(2)</sup> et les fonctions du microbiote rhizosphérique, notamment celles qui affectent la remobilisation des nutriments à partir de la matière organique du sol<sup>(3)</sup>. **Les traits racinaires pourraient donc devenir de nouvelles cibles de sélection et contribuer à l'optimisation des pratiques agroécologiques<sup>(1)</sup>.**

**Contacts**

- Laurent Laplace (Diade, IRD, France/ LMI Lapse, Sénégal), [laurent.laplace@ird.fr](mailto:laurent.laplace@ird.fr)
- Alexandre Grondin (Diade, IRD, France/ LMI Lapse, Sénégal), [alexandre.grondin@ird.fr](mailto:alexandre.grondin@ird.fr)
- Laurent Cournac (Eco&Sols, IRD, France/ LMI Iesol, Sénégal), [laurent.cournac@ird.fr](mailto:laurent.cournac@ird.fr)

Ndoye I., Heulin T., Cournac L., 2017. Pearl millet genetic traits shape rhizobacterial diversity and modulate rhizosphere aggregation. *Front. Plant Sci.*, 8: 1288.

(3) Ndour P.M.S., Mbacké Barry C., Tine D., de la Fuente Cantó C., Gueye M., Barakat M., Ortet P., Achouak W., Ndoye I., Sine B., Laplace L., Heulin T., Cournac L., 2021. Pearl millet genotype impacts microbial diversity and enzymatic activities in relation to root-adhering soil aggregation. *Plant and Soil*, in press.

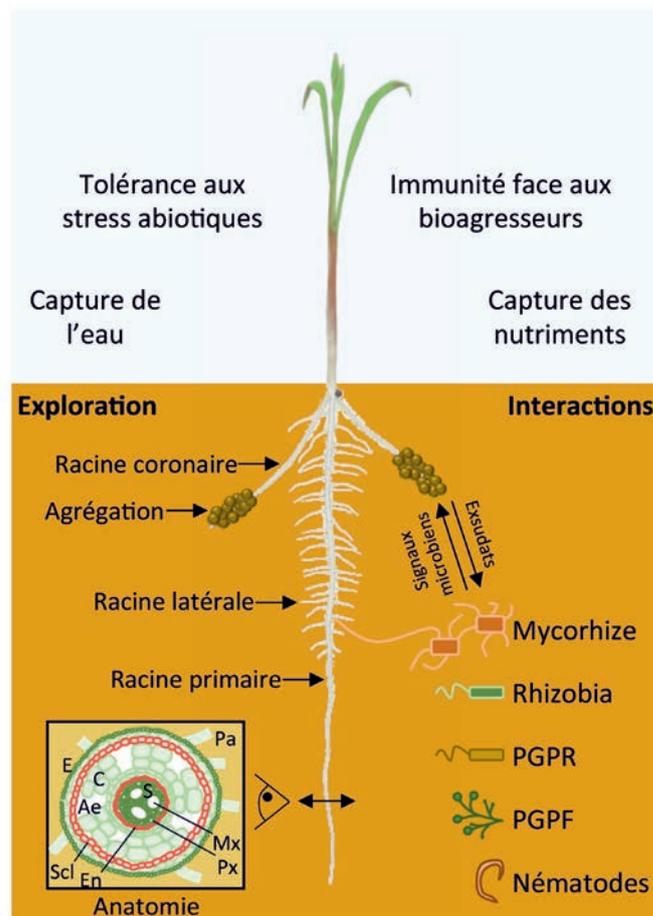
(4) Passot S., Gnacko F., Moukouanga D., Lucas M., Guyomarc'h M., Moreno Ortega B., Atkinson J., Niang M., Bennett M., Gantet P., Wells D.M., Guédon Y., Vigouroux Y., Verdeil J.-L., Muller B., Laplace L., 2016. Characterization of pearl millet root architecture and anatomy reveals three types of lateral roots. *Front. Plant Sci.*, 7: 829.

**Plus d'informations**

(1) de la Fuente Cantó C., Simonin M., King E., Moulin L., Bennett M.J., Castrillo G., Laplace L., 2020. An extended root phenotype: the rhizosphere, its formation and impacts on plant fitness. *The Plant Journal*, 103(3): 951-964.

(2) Ndour P.M.S., Gueye M., Barakat M., Ortet P., Bertrand-Huleux M., Pablo A.-L., Dezette D., Chapuis-Lardy L., Assigbetsé K., Kane N.A., Vigouroux Y., Achouak W.,

► **Traits racinaires contribuant à l'exploration du sol et à l'interaction avec les organismes pour une meilleure nutrition hydrominérale et tolérance aux stress biotiques et abiotiques.** Pa: poils absorbants, E: épiderme, Slc: sclérenchyme, C: cortex, Ae: aërenchyme, En: endoderme, S: stèle, Px: vaisseaux du protoxylème, Mx: vaisseaux du métaxylème, PGPR, PGPF: bactéries et champignons libres de la rhizosphère favorables à la croissance des plantes.



## Impacts positifs d'un système de culture intercalaire de niébé et manioc sur la biodiversité des sols dans le nord du Vietnam (province de Yen Bai)

La production agricole en Asie du Sud-Est repose encore sur l'utilisation massive de pesticides et d'engrais minéraux, qui sont facilement disponibles à faibles coûts dans cette région. Cependant, ces pratiques de gestion intensive ont entraîné une réduction spectaculaire de la biodiversité des sols, affectant ainsi leur santé et conduisant à une dépendance accrue aux intrants chimiques pour maintenir la productivité des cultures. Les organismes du sol, y compris la micro-, la macrofaune et les communautés microbiennes, jouent un rôle clé dans le maintien de la santé des sols et des services écosystémiques, comme la porosité et l'agrégation des sols, le cycle des nutriments et la protection des cultures contre ravageurs et maladies. Des initiatives récentes encouragent des pratiques agroécologiques pour atténuer les effets collatéraux de l'agriculture

intensive sur la santé des sols. Par exemple, les effets de l'introduction de légumineuses dans des systèmes de cultures intercalaires ont été évalués dans le cadre du projet « Towards an agroecological transition in South-East Asia » (Actae), financé par l'Agence française de développement (AFD). Dans la province de Yen Bai, région montagneuse du nord du Vietnam où les monocultures de manioc (*Manihot esculenta*) dominent, l'introduction du niébé (*Vigna unguiculata* L.) comme culture intercalaire, a eu un impact positif sur la biodiversité du sol, même après une seule saison de croissance. Les parcelles cultivées en intercalaire ont en effet montré une plus grande abondance de la microfaune par rapport à celles des monocultures. La culture intercalaire a également entraîné une augmentation jusqu'à 100 % de la richesse, de la diversité et des indices d'équité de la macrofaune du sol. L'analyse

par séquençage à haut débit de la communauté microbienne a révélé une augmentation significative de la richesse de la communauté bactérienne, tandis que d'autres indices n'étaient pas affectés (diversité). Les communautés fongiques n'ont pas été affectées par l'introduction du niébé, ce qui suggère que les changements dans ces communautés peuvent se produire sur une plus longue période. Ces résultats montrent le **fort potentiel de la promotion des pratiques agroécologiques, telles que les systèmes de cultures intercalaires de légumineuses, dans la restauration et le maintien de la biodiversité des sols dans des écosystèmes très fragiles comme ceux des régions montagneuses du Vietnam.**

### Contacts

Laetitia Herrmann (Alliance of Bioversity International and CIAT, CGIAR, Vietnam), l.herrmann@cgiar.org

Didier Lesueur (Eco&Sols, Cirad/Alliance of Bioversity International and CIAT, CGIAR, Vietnam), d.lesueur@cgiar.org

### Autres auteurs

Esther Fouillet (AgroParisTech, France/Alliance of Bioversity International and CIAT, CGIAR, Vietnam)

Trung Thanh Nguyen (Alliance of Bioversity International and CIAT, CGIAR, Vietnam/Université nationale de l'agriculture du Vietnam/Université Kasetsart, Thaïlande)

Hai Thy Thanh Nguyen (Institut de recherche en agriculture et foresterie des montagnes du Nord, Nomafsi, Vietnam)

Mary Atieno (Alliance of Bioversity International and CIAT, CGIAR, Vietnam)

Shuang Zhong (Académie chinoise des sciences agricoles tropicales, Catas/Ministère de l'Agriculture et des Affaires rurales R.P., Chine)

### Plus d'informations

Fouillet E., Herrmann L., Nguyen T.T., Nguyen H.T.T., Atieno M., Zhong S. Lesueur D., 2019. *Do legume-based intercrops improve soil fauna and soil microbial diversity? Example of the cowpea-cassava intercropping system in Northern Vietnam.* Rhizosphere 5 Conference, July 2019, Saskatoon, Canada.

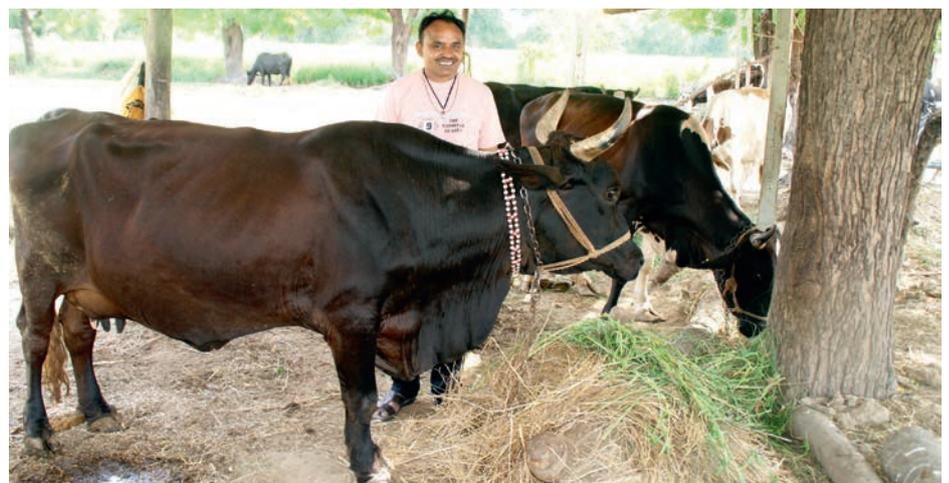


▲ Culture intercalaire de manioc et de niébé dans la province de Yen Bai, au nord du Vietnam.  
© D. Lesueur, 2018

## Exploiter la diversité génétique

### Amélioration génétique et génomique des bovidés en Inde

L'Inde est le plus grand producteur de lait au monde, avec environ 100 millions de vaches et autant de buffles. Toutefois, la production individuelle est faible (deux vaches par éleveur en moyenne) et les conditions d'élevage sont difficiles. Cette situation ne permet pas la mise en place d'un programme d'amélioration génétique classique, et le croisement avec des taureaux de races occidentales peu adaptées aux conditions indiennes a été la seule façon d'augmenter la production. Pourtant le recours à l'insémination artificielle est développé, notamment à travers la plus grande ONG indienne en agriculture (BAIF Development Research Foundation) qui produit des millions de doses de semence de taureaux et de buffles de divers types génétiques disséminées via un service d'insémination performant.



▲ Un éleveur fier de ses vaches croisées. © V. Ducrocq

Un partenariat entre INRAE et BAIF a débuté en 2003 afin de valoriser la diversité génétique locale pour une amélioration génétique durable. Depuis, la sélection génomique utilisant l'information issue du génotypage de populations de référence phénotypées a prouvé en Europe qu'elle génère un progrès génétique important et durable. Un programme de sélection génomique original est mis en place à la BAIF, utilisant les dernières technologies (génotypage, insémination) et la collecte d'informations originales afin de maintenir les caractéristiques d'adaptation à un milieu contraignant<sup>(1)</sup>. **Ce programme rejoint les principes de l'agroécologie en s'appuyant sur la diversité génétique pour combiner performance et adaptation.**

Il bénéficie d'un projet financé par la fondation Bill et Melinda Gates permettant à la BAIF de collecter auprès de petits éleveurs de milliers de données zootechniques et de génotypes dans sept États indiens. Il a été accompagné de la création en 2018 du laboratoire international associé (LIA) Gimic (*Genetic improvement of Indian cattle and buffaloes*), impliquant également AgroParisTech. Le LIA contribue ainsi à la mise en place d'une sélection génomique durable techniquement et économiquement, adaptée au contexte indien dans un système aux interactions 'génotype x milieu' très fortes. Elle s'accompagne d'une formation technique des cadres de la BAIF.

#### Contacts

Vincent Ducrocq (Gabi, Gimic, INRAE, France),  
vincent.ducrocq@inrae.fr

Marimuthu Swaminathan (Gimic, BAIF, Inde),  
mswami@baif.org.in

#### Plus d'informations

(1) Ducrocq V., Laloe D., Swaminathan M., Rognon X., Tixier-Boichard M., Zerjal T., 2018. Genomics for ruminants in developing countries: from principles to practice. *Front. Genet.*, 9: 251. DOI: 10.3389/fgene.2018.00251

## Alimentation humaine et animale, fourrage et malt

*L'orge, la culture à usages multiples par excellence pour la sécurité nutritionnelle et des moyens de subsistance dans les zones arides de la région MENA*

Les systèmes intégrés culture-élevage dominent dans les zones arides du Moyen-Orient et d'Afrique du Nord (MENA pour *Middle East and North Africa*), où les petits agriculteurs s'efforcent de maximiser la productivité de leurs exploitations dans le contexte du changement climatique. Pour ces producteurs, les céréales fourragères, les chaumes et la paille, constituent la principale source d'alimentation des petits ruminants en été et en hiver<sup>(3)</sup>. Compte tenu de la hausse des prix du fourrage, il apparaît essentiel de sélectionner et de cultiver des céréales pour aller au-delà du simple rendement en grains. Dans ce contexte, l'orge est la culture parfaite pour accroître à la fois la sécurité alimentaire et fourragère tout en maximisant l'efficacité et la résilience du système culture-élevage. **La culture de l'orge présente en effet le double avantage de produire une matière sèche fourragère verte substantielle en hiver - lorsque le fourrage est par ailleurs rare - et de ne pas pénaliser le rendement**

**en grains et fourrage l'été.** Cette stratégie est également plus rentable économiquement que le seul objectif d'un rendement élevé en grains, en particulier dans les zones où les précipitations sont supérieures à 300 mm<sup>(2)</sup>; elle assure un fourrage disponible toute l'année, réduisant ainsi la pression sur les parcours. À ce titre, le « Global Barley Breeding Program » d'ICARDA a récemment mis au point **de nouveaux génotypes d'orge à double usage, plus efficaces, qui produisent jusqu'à 20 % de fourrage en plus en hiver - comparé aux meilleurs contrôles commerciaux - et qui peuvent être pâturés par le bétail**<sup>(3)</sup>. Maximiser la rentabilité durable des systèmes agricoles est également essentiel pour améliorer les moyens de subsistance des agriculteurs; ces derniers doivent alors avoir accès à de nouvelles variétés efficaces et facilement intégrables dans le système agroécologique ciblé. Les agriculteurs obtiennent des bénéfices économiques, et même nutritionnels, plus importants lorsque les céréales

ciblent des filières à haute valeur ajoutée, comme celle de l'alimentation humaine biofortifiée ou la production de malt. Ces dernières années, la demande en malt a augmenté de 83 % en Éthiopie, et de nouveaux programmes d'agriculture contractuelle offrent des primes allant jusqu'à 20 % au-dessus du prix du marché<sup>(1)</sup>, ce qui a entraîné une augmentation de la culture de l'orge brassicole. Cependant, certaines variétés d'orge brassicole ne fournissent pas suffisamment de fourrage à base de paille pour répondre aux besoins des systèmes de culture-élevage. L'introduction de nouvelles variétés d'orge brassicole combinant production de malt et rendements en paille supérieurs<sup>(1)</sup>, telles que les variétés ICARDA EIAR (IBON174/3, HBI963 et HBI964), peut augmenter les revenus des agriculteurs tout en produisant du fourrage, et ainsi maximiser l'efficacité et la résilience globale du système agricole.

#### Contact

Miguel Sanchez-Garcia (ICARDA, CGIAR, Maroc),  
m.sanchez-garcia@cgiar.org

#### Plus d'informations

(1) Ali A.B., 2018. Malt barley commercialization through contract farming scheme: a systematic review of experiences and prospects in Ethiopia. *African Journal of Agricultural Research*, 13(53): 2957-2971.

(2) Ates S., Cicek H., Gultekin I., Yigezu Y.A., Keser M., Filley S.J., 2018. Bio-economic analysis of dual-purpose management of winter cereals in high and low input production systems. *Field Crops*, 227: 56-66.

(3) Ryan J., Singh M., Pala M., 2008. Long-term cereal-based rotation trials in the Mediterranean region: implications for cropping sustainability. *Adv. Agron.*, 97: 273-319.

(4) Singh Verma R.P., 2017. *Improvement of dual purpose barley for forage and straw for livestock.* (5/2/2017).  
<https://hdl.handle.net/20.500.11766/5807>

▼ *Essai de gestion à double usage dans la station de terrain ICARDA, Marchouch, Maroc.*

© M. Sanchez-Garcia



## De nouvelles ressources de terrain et de génomique pour la diversification des systèmes alimentaires

Le Consortium africain pour les cultures orphelines (AOCC\*) et World Agroforestry (CIFOR-ICRAF) développent la génomique moderne et des ressources de terrain pour environ 50 espèces d'arbres négligées d'importance en Afrique afin de contribuer à leur domestication, leur amélioration et leur sélection. Ce partenariat public-privé implique 28 partenaires principaux et un vaste réseau de plus de 25 collaborateurs<sup>(1)</sup>. La diversification des paysages agricoles et des systèmes de production alimentaire grâce à des cultures vivrières locales orphelines ou négligées, adaptées et socio-culturellement adoptables, est un élément clé de la résilience des paysages agroécologiques<sup>(2,3)</sup>. Ces programmes de sélection et d'amélioration modernes sont rendus possibles par de nouvelles ressources issues du terrain et de la génomique :

**1. Domestication participative et méthodes modernes de sélection génomique** : le consortium, ses collaborateurs et partenaires, utilisent une démarche participative CIFOR-ICRAF de domestication des arbres pour créer des ressources génétiques adoptables et adaptables localement. Les modèles génomiques de prédiction des rendements

et des caractères, tels que la sélection et les associations génomiques, la cartographie QTL, etc., ainsi que la sélection de la diversité via différentes populations reproductrices, constituent le pilier des programmes de domestication et d'amélioration des arbres.

**2. Hiérarchisation et mesure des caractères** : outre des traits tels que la productivité agricole, la tolérance aux maladies et ravageurs, la teneur en nutriments, l'architecture des arbres et la compatibilité avec les cultures mixtes, des caractères propres aux petits exploitants émergent - comme la facilité de récolte, de transformation et de stockage, les préférences des agriculteurs et des consommateurs - à l'ère du changement climatique et de la mondialisation. Les méthodes de génomique permettent une modélisation cohérente et prédictive de tels indicateurs d'amélioration des caractères.

**3. Ressources génomiques** : le séquençage du génome, celui de la diversité et des gènes/transcriptomes, produisent des données qui peuvent être intégrées dans les plans de gestion des ressources génétiques et dans les programmes d'amélioration des populations, de pré-sélection

et de sélection. Le consortium a publié cinq génomes d'arbres jusqu'à présent\*\*.

**4. Gestion des banques de gènes** : en l'absence de données phénotypiques, les marqueurs génomiques peuvent aider les banques de gènes d'arbres à mieux renseigner les opérations et les rendre plus efficaces, plus économiques et davantage ciblées.

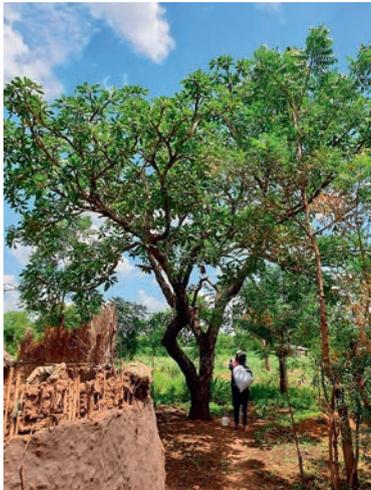
Les méthodes traditionnelles, guidées par des outils modernes, devraient ainsi améliorer l'adoption de ces arbres négligés au-delà de leurs aires traditionnelles, ce qui augmenterait la couverture arborée des terres agricoles, renforcerait les systèmes semenciers, améliorerait les revenus et offrirait de nouveaux moyens de subsistance aux petits exploitants agricoles.

\* African Orphan Crops Consortium : <http://africanorphancrops.org>

\*\* <http://africanorphancrops.org/ongoing-projects>

▼ **Le karité (*Vitellaria paradoxa subsp. nilotica*) dans son habitat naturel dans la région de Gambella en Éthiopie. Le karité est une espèce explorée par le Consortium des cultures orphelines africaines (AOCC) pour le développement de ressources génomiques à déployer dans les programmes d'amélioration et de sélection.**

© Prasad S. Hendre



▲ Un arbre de karité protégé dans un habitat communautaire.



▲ Nouveau recrutement naturel de karité dans le parc à karité.



▲ Arbre à karité protégé et entretenu dans un champ de maïs.



▲ Un arbre à karité protégé et entretenu au sein d'un habitat communautaire.

### Contacts

Prasad S. Hendre (ICRAF, CGIAR, Kenya), [p.hendre@cgiar.org](mailto:p.hendre@cgiar.org)

Ramni Jamnadass (ICRAF, CGIAR, Kenya), [r.jamnadass@cgiar.org](mailto:r.jamnadass@cgiar.org)

Allen Van Deynze (Université de Californie à Davis, USA), [avandeynze@ucdavis.edu](mailto:avandeynze@ucdavis.edu)

### Autres auteurs

Alice Muchugi, Anthony Simons, Lars Graudal (ICRAF, CGIAR, Kenya)

Ian K. Dawson (ICRAF, CGIAR, Kenya/ Collège rural d'Écosse, Royaume-Uni)

Howard Yana-Shapiro (Université de Californie à Davis, USA)

### Plus d'informations

(1) Hendre P.S., Muthemba S., Kariba R., Muchugi A., Fu Y., Chang Y., Song B., Liu H., Liu M., Liao X., Sahu S.K., Wang S., Li L., Lu H., Peng S., Cheng S., Xu X., Yang H., Wang J., Liu X., Simons A., Shapiro H.Y., Mumm R.H., Van Deynze A., Jamnadass R., 2019. African Orphan Crops Consortium (AOCC): status of developing genomic resources for African orphan crops. *Planta*, 250: 989-1003. [doi.org/10.1007/s00425-019-03156-9](https://doi.org/10.1007/s00425-019-03156-9)

(2) Dawson I.K., Powell W., Hendre P., Bančić J., Hickey J.M., Kindt R., Hoad S., Hale I., Jamnadass R., 2019. The role of genetics in mainstreaming the production of new and orphan crops to diversify food systems and support human nutrition. *New Phytologist*, 224: 37-54. [doi.org/10.1111/nph.15895](https://doi.org/10.1111/nph.15895)

(3) Jamnadass R., Mumm R.H., Hale I., Hendre P., Muchugi A., Dawson I.K., Powell W., Graudal L., Yana-Shapiro H., Simons A.J., Deynze A.V., 2020. Enhancing African orphan crops with genomics. *Nature Genetics*, 52: 356-360. [doi.org/10.1038/s41588-020-0601-x](https://doi.org/10.1038/s41588-020-0601-x)

# Quand agriculteurs et scientifiques collaborent

Des variétés climato-résilientes pour les systèmes de culture à faibles intrants en Afrique et Amérique centrale

L'amélioration des variétés de sorgho et de riz nécessite des efforts continus pour assurer l'alimentation des populations rurales et urbaines pauvres et offrir des opportunités de revenus dans les régions vulnérables au changement climatique. Depuis 20 ans, le Cirad collabore avec des organisations paysannes, des instituts de recherche et des ONG, pour identifier et développer de nouvelles variétés de sorgho adaptées aux systèmes de culture agroécologiques à faible niveau d'intrants en Afrique de l'Ouest et en Amérique centrale, ainsi que de nouvelles variétés de riz pluvial pour les hauts plateaux malgaches – des régions parmi les plus touchées par le changement climatique dans le monde. Les analyses d'impact de ces programmes de sélection participative décentralisés ont révélé **une large adoption et diffusion des variétés développées en raison de leur adaptation**

**aux contraintes pédologiques et climatiques dominantes, aux objectifs d'intensification et aux préférences alimentaires locales**<sup>(1,2)</sup>. Les agriculteurs apprécient les rendements plus élevés et plus stables obtenus dans leurs systèmes de culture, sans parler de la qualité des grains produits pour la consommation familiale et leur valeur marchande élevée, ainsi que leur qualité fourragère améliorée, en particulier pour le sorgho<sup>(1,3)</sup>. Au Burkina Faso, la collaboration entre les parties prenantes sur ces variétés a permis la mise en place de nouveaux réseaux de production de semences par les organisations paysannes, générant à la fois revenus et emplois<sup>(1)</sup>. Une approche de sélection similaire est mise en œuvre dans le sud de Madagascar.

Les résultats de cette collaboration sont doubles : d'une part, le développement de variétés supérieures

aux cultivars traditionnels des agriculteurs pour une intensification progressive et une adaptation au changement climatique<sup>(4)</sup> ; d'autre part, l'organisation d'un nouveau cadre permettant aux agriculteurs, aux agences de vulgarisation et aux scientifiques de travailler ensemble à la diffusion des futures nouvelles variétés tout en développant de meilleurs systèmes de culture. **Aujourd'hui, les agriculteurs demandent à être impliqués dans toutes les étapes des expérimentations menées dans leurs parcelles, depuis le choix des variétés et des pratiques culturales les plus adaptées jusqu'à l'accès et l'échange des futures semences.** Ce faisant, les agriculteurs et les chercheurs passent d'une relation « participative » menée par le chercheur à un modèle de partenariat dans lequel le chercheur n'est plus qu'un acteur parmi d'autres.

## Contacts

Gilles Trouche (Agap, Cirad, France), gilles.trouche@cirad.fr

Kirsten vom Brocke (Agap, Cirad, France), kirsten.vom\_brocke@cirad.fr

## Plus d'informations

(1) Vom Brocke K., Kondombo C.P., Guillet M., Kaboré R., Sidibé A., Temple L., Trouche G., 2020. Impact of participatory sorghum breeding in Burkina Faso. *Agricultural System*, 180.

(2) Breumier P., Ramarosandratana A., Ramanantsoanirina A., Vom Brocke K., Marquié C., Dabat M.-H., Raboin L.-M., 2018. Évaluation participative des impacts de la recherche sur le riz pluvial d'altitude à Madagascar de 1980 à 2015. *Cahiers Agricultures*, 27(1): 15004. <https://doi.org/10.1051/cagri/2017065>

(3) Trouche G., vom Brocke K., Aguirre S., Chow Z., 2009. Giving new sorghum variety options to resource-poor farmers in Nicaragua through participatory varietal selection. *Exp. Agric.*, 45: 451-467.

(4) Vom Brocke K., Trouche G., Weltzien E., Kondombo-Barro C.P., Sidibé A., Zougmore R.B., Gozé E., 2014. Helping farmers adapt to climate and cropping system change through increased access to sorghum genetic resources adapted to prevalent sorghum cropping systems in Burkina Faso. *Experimental Agriculture*, 50(2): 284-305. <http://dx.doi.org/10.1017/S0014479713000616>



▲ Évaluation finale d'un ensemble de variétés de sorgho à double usage développé dans le cadre d'un programme de sélection participative décentralisé au Nicaragua. © G. Trouche

# Des banques de gènes aux champs des agriculteurs

La démarche Seeds for Needs (blé dur)

Les besoins des petits exploitants ne peuvent pas être satisfaits par une approche unique dans des régions où les conditions agroécologiques sont variées et où les agriculteurs ont des préférences diversifiées en matière de caractères culturaux. La stratégie conventionnelle de sélection végétale - qui consiste à utiliser une gamme étroite de matériel génétique - néglige le potentiel élevé offert par les ressources génétiques disponibles dans diverses banques de gènes. En outre, cette stratégie accroît la vulnérabilité de l'agriculture dans le contexte actuel de changement climatique. La démarche *Seeds for Needs* (S4N), qui combine génomique, sélection conventionnelle et choix des agriculteurs par le biais du *crowdsourcing*, vise à tester de nombreuses variétés dans les champs des agriculteurs afin de sélectionner les plus performantes dans des conditions de croissance climatiques et édaphiques spécifiques. En amenant les semences dans leurs parcelles, les agriculteurs, hommes et femmes, peuvent ainsi sélectionner les variétés qui répondent à leurs besoins et qui sont les plus adaptées à leur exploitation, les connaissances traditionnelles occupant ainsi une place de choix dans cette gestion.

▼ Une agricultrice portant sa récolte de blé dur. © Y.G. Kidane



suiv.

Dans cet exemple, 373 variétés de blé dur produites par les agriculteurs et provenant de l'Institut de la biodiversité d'Éthiopie, ont été testées dans les conditions de culture des agriculteurs, ainsi que 27 variétés diffusées par le système de recherche. Après avoir testé leur adaptabilité générale, nous avons sélectionné les variétés les plus adaptables pour les distribuer aux agriculteurs. Les données agronomiques recueillies par les chercheurs et le classement des préférences des agriculteurs, ont révélé que les 20 meilleures variétés provenaient de la banque de gènes. En distribuant ces variétés à plusieurs centaines d'agriculteurs avec une démarche de *crowdsourcing*, nous leur avons donné les moyens de gérer leurs propres semences. **À la troisième saison, la plupart des agriculteurs ont pu couvrir 1 ha de leurs champs avec une seule variété, augmenter leur productivité jusqu'à 100 %, et la diversité de leurs exploitations a été multipliée par quatre en moyenne.** L'approche S4N, consistant à fournir aux agriculteurs un portefeuille de variétés et à

intégrer les décisions des agriculteurs, s'est avérée être un outil efficace pour promouvoir la transition agroécologique en reliant les banques de gènes aux champs des agriculteurs.

#### Contact

Yosef Gebrehawaryat Kidane (Alliance of Bioversity International and CIAT, CGIAR, Éthiopie),  
y.gebrehawaryat@cgiar.org

#### Autres auteurs

Dejene Kassahun Mengistu, Mulugeta Tilahun Melaku et Bogale Nigir Hailemariam (Alliance of Bioversity International and CIAT, CGIAR, Éthiopie, Kenya)

Carlo Fadda (Alliance of Bioversity International and CIAT, CGIAR, Kenya)

Basazen Fantahun Lakew (Institut de la biodiversité d'Éthiopie, Éthiopie)

Mario Enrico Pè et Matteo Dell'Acqua (Institut des sciences de la vie, Italie)

Jemal Nurhsien et Afework Kiros (Université de Mekele, Éthiopie)

#### Plus d'informations

• Mengistu D.K., Kidane Y.G., Catellani M., Frascaroli E., Fadda C., Pè M.E., Dell'Acqua M., 2016. High-density molecular characterization and association mapping in Ethiopian durum wheat landraces reveals high diversity and potential for wheat breeding. *Plant Biotechnol. J.* doi: 10.1111/pbi.12538

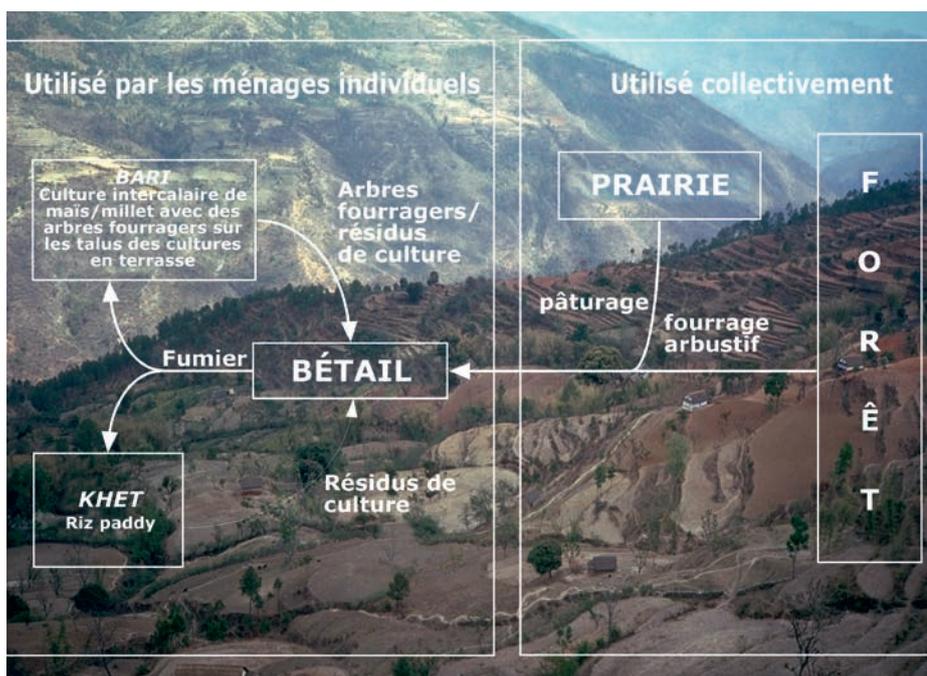
• Van Etten J., Beza E., Calderer L., Van Duijvendijk K., Fadda C., Fantahun B., Kidane Y.G., Zimmerer K., 2016. First experiences with a novel farmer citizen science approach: crowdsourcing participatory variety selection through on-farm triadic comparisons of technologies (Tricot). *Experimental Agriculture*: 1-22. doi: 10.1017/S0014479716000739

## La sélection variétale participative accélère la transition agroécologique menée par les agriculteurs au Népal

Les rendements de maïs stagnaient dans les Middle Hills du Népal avant qu'une approche systémique<sup>(1)</sup> ne soit utilisée pour développer la sélection variétale participative dans un contexte de transition agroécologique menée par les agriculteurs et impliquant l'intégration d'arbres fourragers sur les terres agricoles. La première étape a consisté à comprendre comment le maïs s'intégrait dans les systèmes de subsistance des agriculteurs grâce aux connaissances locales sur cette production<sup>(2)</sup>. Les paysages des Middle Hills comprenaient à la fois des terres individuelles et communales. Les terres cultivées individuellement étaient souvent divisées en deux parties : supérieure (terres de cultures pluviales *bari* où le maïs était cultivé) et inférieure (terres irriguées *khet* où le

riz était cultivé) (figure). Les terres communales comprenaient des forêts et des pâturages. L'apport de fumier et de compost issu des résidus culturaux constituait l'élément clé du maintien de la fertilité des champs cultivés. En raison de l'accès réduit au fourrage dans les zones forestières soumises à la réglementation relative aux forêts communautaires, les agriculteurs ont privilégié la régénération d'arbres fourragers sur les talus des terrasses cultivées afin de disposer de fourrage pendant la période sèche hivernale. Les agriculteurs n'ont pas suivi les recommandations agronomiques concernant le maïs, avec des densités de plantation beaucoup plus élevées que celles recommandées et des éclaircies à des densités beaucoup plus faibles que celles recommandées lors des récoltes. Ils

utilisaient ces éclaircies comme fourrage pour le bétail et pratiquaient des cultures dérobées de millet - le tout sur des terrasses cultivées où des arbres fourragers sur les talus concurrençaient les cultures. Les agriculteurs ne cherchaient pas à maximiser le rendement en grains de maïs, mais plutôt à améliorer la productivité totale de l'exploitation qui reposait sur la fertilité du sol via les excréments et d'autres produits d'élevage, ainsi que sur les rendements des cultures dérobées de millet. **Sélectionner des variétés de maïs en fonction des critères des agriculteurs et leur permettre de tester eux-mêmes différentes variétés, ont permis d'identifier et de mettre en circulation des variétés dont les performances étaient jusqu'à 30 % supérieures à celles des variétés utilisées précédemment<sup>(3)</sup>, du fait de racines plus longues et de leurs meilleurs rendements dans les conditions agricoles locales<sup>(4)</sup>.**



▲ Transition agroécologique menée par les agriculteurs dans la région des Midhills au Népal, où les arbres fourragers sont régénérés sur les terrasses cultivées en réponse à la baisse de la disponibilité fourragère sur les terres forestières communales.

#### Contacts

Thakur Prasad Tiwari (CIMMYT, CGIAR, Pakistan),  
t.tiwari@cgiar.org

Fergus Sinclair (ICRAF, CGIAR, Kenya/ Université de Bangor, Royaume-Uni), f.sinclair@cgiar.org

#### Plus d'informations

(1) Sinclair F.L., 2017. Systems science at the scale of impact: reconciling bottom-up participation with the production of widely applicable research outputs. In Oborn I. et al. (eds): *Sustainable intensification in smallholder agriculture: an integrated systems research approach*. Earthscan London: 43-57.

(2) Tiwari T.P., Brook R.M., Sinclair F.L., 2004. Implications of hill farmers' agronomic practices in Nepal for crop improvement in maize. *Experimental Agriculture*. 40: 1-21.

(3) Tiwari T.P., Virk D.S., Sinclair F.L., 2009. Rapid gains in yield and adoption of new maize varieties for complex hillside environments through farmer participation. I. Improving options through participatory varietal selection (PVS). *Field Crops Research*, 111: 137-143.

(4) Tiwari T.P., Brook R.M., Wagstaff P., Sinclair F.L., 2012. Effects of light environment on maize in hillside agroforestry systems of Nepal. *Food Security*, 4: 103-114.

## Renforcer la résilience des communautés rurales des zones arides méditerranéennes

Les pays d'Afrique du Nord et d'Asie occidentale ont connu des sécheresses dévastatrices au cours de la dernière décennie, avec des températures supérieures de 2 à 8 °C à la moyenne du XX<sup>e</sup> siècle. La production agricole nationale a ensuite chuté de 30 à 40 % par rapport à la moyenne. Les variétés « climato-intelligentes », sélectionnées pour leur tolérance génétique à ces stress<sup>(1)</sup>, représentent des solutions technologiques durables. Cependant, il n'est pas suffisant d'avoir une variété avec des avantages génétiques pour garantir son adoption par les agriculteurs, car le processus de décision est guidé par des préférences subjectives et objectives<sup>(2)</sup>. ICARDA a ainsi développé une stratégie de pondération socio-économique participative pour définir une liste précise de traits à intégrer dans une variété idéale<sup>(2)</sup>. Cette liste peut ensuite

être adaptée pour répondre aux besoins d'une agroécologie ou, plus efficacement, d'un ensemble de communautés ayant des besoins similaires. Deux approches sont nécessaires pour fournir de manière efficace des variétés « sur mesure » aux communautés : (i) la sélection variétale participative<sup>(3)</sup> afin de promouvoir un sentiment d'appropriation des variétés sélectionnées ; (ii) le couplage avec des entreprises semencières communautaires<sup>(4)</sup> afin de favoriser la production et l'adoption des semences. Les agriculteurs pilotes engagés dans ce système ont produit 20 à 40 % de plus avec les nouvelles variétés par rapport à celles couramment utilisées\*. **Cette approche socialement pondérée a considérablement amélioré la productivité et l'adaptation au climat des communautés agricoles, mais n'a amélioré que marginalement leurs revenus. Des coopératives féminines**

**ont alors été intégrées dans le processus participatif afin de sélectionner uniquement des variétés adaptées à la production d'aliments méditerranéens traditionnels. Ces courtes chaînes de valeurs alimentaires rurales ont permis de multiplier par 10 le prix de vente des céréales sur les marchés alimentaires.** Dans l'ensemble, cette approche agroécologique a aidé à stimuler la productivité et l'adaptation des exploitations agricoles en utilisant de meilleures variétés et a généré des revenus plus élevés grâce à l'autonomisation des femmes rurales. Ces réussites incitent les agriculteurs locaux à continuer à produire des cultures pour avoir des revenus, plutôt que de s'orienter vers un système agricole dégradant les ressources et davantage axé sur le pâturage du bétail.

\* Projet DIIVA-PR, Dissemination of interspecific ICARDA varieties and elites through participatory research : <https://mel.cgiar.org/projects/741>



◀ **Engagement des coopératives féminines rurales dans des chaînes de valeurs alimentaires très courtes.**

© M. Major

### Contacts

Filippo M. Bassi (ICARDA, CGIAR, Maroc), [f.bassi@cgiar.org](mailto:f.bassi@cgiar.org)

Miguel Sanchez-Garcia (ICARDA, CGIAR, Maroc), [m.sanchez-garcia@cgiar.org](mailto:m.sanchez-garcia@cgiar.org)

Dina Najjar (ICARDA, CGIAR, Maroc), [d.najjar@cgiar.org](mailto:d.najjar@cgiar.org)

### Plus d'informations

(1) Sall A.T., Chiari T., Wasihun L., Kemal S.A., Ortiz R., van Ginkel M., Bassi F.M., 2019. Durum wheat (*Triticum durum* Desf.): origin, cultivation and potential expansion in Sub-Saharan Africa. *Agronomy*, 9. <https://hdl.handle.net/20.500.11766/10010>

(2) Alary V., Yigezu Y., Bassi F.M., 2020. Participatory farmers-weighted selection (PWS) indices to raise adoption of durum cultivars. *Crop Breeding Genetics and Genomics*, 2: 1-20. <https://hdl.handle.net/20.500.11766/12044>

(3) Bassi F., 2019. *Selection by stone*. <https://hdl.handle.net/20.500.11766/10629>

(4) Bishaw Z., Niane A.A., 2015. *Are farmer-based seed enterprises profitable and sustainable? Experiences of VBSEs from Afghanistan*. Chris Ojiewo (Curator), India. <https://hdl.handle.net/20.500.11766/7097>

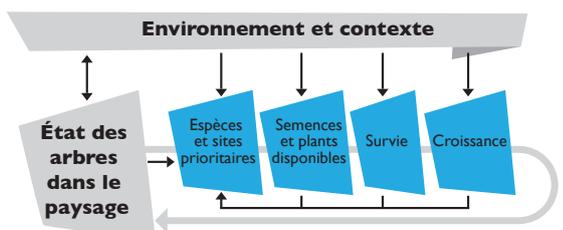
## Augmentation de la diversité arborée par les agriculteurs dans les paysages agricoles d'Éthiopie

L'augmentation de la couverture arborée dans les exploitations agricoles peut contribuer à des transitions agroécologiques respectueuses de l'environnement et soutenant les moyens de subsistance en Éthiopie. Pourtant, la plupart des programmes de plantation d'arbres favorisent quelques espèces uniquement, limitant ainsi la possibilité de mettre en œuvre les principes agroécologiques qui renforcent la biodiversité, le recyclage et la synergie<sup>(1)</sup>. Une étude récente visant à mieux comprendre les priorités des agriculteurs en matière de plantation d'arbres dans les régions semi-arides et subhumides d'Oromia, a révélé un énorme potentiel d'accroissement de la diversité arborée grâce aux agriculteurs<sup>(2)</sup>. Différentes espèces d'arbres ainsi que les caractéristiques des sites de plantation ont été identifiées grâce à des discussions de groupe. La survie et la croissance des semis ont ensuite été évaluées via des essais participatifs comparant 17 espèces d'arbres dans sept sites de plantation choisis par les agriculteurs au sein de leurs exploitations.

Les agriculteurs ont pu identifier une gamme très diversifiée d'espèces arborées convenant à chacun de ces sites, les espèces fruitières étant principalement sélectionnées pour les exploitations familiales.

La diversité spécifique souhaitée s'est avérée bien plus importante que celle généralement disponible dans les pépinières ou promue par les projets de plantation d'arbres. Aussi, il a été difficile de répondre à la demande de plantation du fait de l'offre de semis peu diversifiée. La survie moyenne des plants dans 1 893 exploitations/sites de plantation dans les deux régions a été estimée à 45,6 % (± 32,6) à 6 mois et à 33,6 % (± 25,5) à 14 mois, avec des différences frappantes entre espèces, exploitations, régions et sites de plantation. La forte variation de la survie des plants selon les espèces montre l'impact des facteurs de risque locaux attribuables à la gestion et à des

► **Cadre conceptuel d'une approche intégrée menée par les agriculteurs pour accroître la couverture et la diversité arborée dans les exploitations.**  
L'évolution de la couverture arborée est indiquée (flèche grise) ainsi que les filtres (bleu).



causes biotiques et abiotiques. Les différences de croissance de six espèces communes des deux régions agroécologiques (*Cordia africana*, *Grevillea robusta*, *Jacaranda mimosifolia*, *Leucaena leucocephala*, *Moringa stenopetala* et *Sesbania sesban*) dans différents sites révèlent les effets significatifs de l'espèce et du site de plantation sur la croissance ( $p < 0,001$ ). **Une approche contribuant à augmenter la couverture arborée par les agriculteurs a été proposée afin d'accroître la diversité arborée des paysages agricoles (figure) ; cette démarche combine leurs préférences concernant les espèces et leurs sites de plantation ainsi qu'un approvisionnement et une gestion appropriés des semis.**

### Contacts

Abayneh Derero (Institut de recherche éthiopien sur l'environnement et les forêts, Éthiopie), [abaynehdd@yahoo.com](mailto:abaynehdd@yahoo.com) ; [abaynehd@eefri.gov.et](mailto:abaynehd@eefri.gov.et)

Catherine Muthuri (ICRAF, CGIAR, Kenya), [c.muthuri@cgiar.org](mailto:c.muthuri@cgiar.org)

Fergus Sinclair (ICRAF, CGIAR, Kenya/Université de Bangor, Royaume-Uni), [f.sinclair@cgiar.org](mailto:f.sinclair@cgiar.org)

### Autres auteurs

Kiros M. Hadgu (ICRAF, CGIAR, Éthiopie)

Richard Coe (ICRAF, CGIAR, Kenya)

### Plus d'informations

(1) Wezel A., Gemmill Herren B., Bezner Kerr R., Barrios E., Gonçalves A.L.R., Sinclair F., 2020. *Agroecological principles and*

elements and their implications for transitioning to sustainable food systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 40: 40. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00646-z>

(2) Derero A., Coe R., Muthuri C., Hadgu K.M., Sinclair F., 2020. Farmer-led approaches to increasing tree diversity in fields and farmed landscapes in Ethiopia. *Agroforestry Systems*, (2020). <https://doi.org/10.1007/s10457-020-00520-7>

## Minimiser l'emploi d'insecticides lors du stockage des céréales dans les petites exploitations agricoles

Il est important de réduire les pertes alimentaires pour mettre à disposition davantage d'aliments nutritifs et atteindre l'objectif de développement durable n°2 « Faim zéro ». Dans un système de petites exploitations agricoles, depuis le pré-séchage au champ jusqu'à la récolte, les céréales subissent des processus au cours desquels une mauvaise manipulation associée à des facteurs abiotiques (température ambiante, humidité relative) et biotiques (insectes, champignons, rongeurs), peut engendrer des pertes. Pour réduire ces pertes, les agriculteurs peuvent choisir de traiter les céréales avec des insecticides pendant leur stockage, souvent à des doses inappropriées, sans manipulations adéquates, et sans connaître les risques sanitaires associés. L'utilisation d'insecticides par les petits exploitants est un problème de santé publique avec des cas d'intoxication fréquemment signalés au

Mexique et en Amérique latine. Les technologies de stockage hermétique (silo métallique hermétique, sac hermétique, conteneur hermétique en plastique recyclé) représentent une alternative viable pour ces petits exploitants. En effet, celles-ci, en empêchant l'échange d'oxygène et d'humidité entre les graines stockées et leur environnement, sont efficaces pour contrôler l'activité des nuisibles à l'intérieur des conteneurs sans utiliser d'insecticides. Des recherches ont montré que, quelles que soient les conditions agroécologiques, **les technologies de stockage hermétique réduisaient en moyenne les pertes post-récolte de 39 % (avec des pratiques conventionnelles des agriculteurs) à 3 % dans les plaines du Mexique (< 500 m au-dessus du niveau de la mer) où la pression des insectes est plus forte que dans les régions montagneuses. Ces technologies de**

**stockage limitent également les attaques fongiques et le risque associé de production de mycotoxines<sup>(1)</sup>, maintiennent le pourcentage de germination des graines et minimisent la perte de qualité pendant le stockage.** Le CIMMYT promeut l'utilisation de ces technologies de stockage auprès des petits exploitants, ainsi que des bonnes pratiques de manipulation bon marché, notamment de décorticage et de séchage, ainsi que la vérification de l'humidité à l'aide de méthodes simples. Le développement du marché des technologies post-récolte est également essentiel pour faciliter l'accès physique et économique des agriculteurs à des technologies de haute qualité qui ont le potentiel de minimiser les pertes et de renforcer leur sécurité alimentaire.

### Contacts

Sylvanus Odjo (CIMMYT, CGIAR, Mexique),  
sylvanus.odjo@cgiar.org

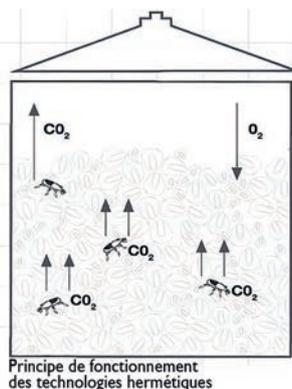
Bram Govaerts (CIMMYT, CGIAR, Mexique),  
b.govaerts@cgiar.org

Nele Verhulst (CIMMYT, CGIAR, Mexique),  
n.verhulst@cgiar.org

### Plus d'informations

(1) Odjo S., BURGUEÑO J., RIVERS A., VERHULST N., 2020. Hermetic storage technologies reduce maize pest damage in smallholder farming systems in Mexico. *J. Stored Prod. Res.*, 88. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2020.101664>

► Principe de fonctionnement des technologies hermétiques (à gauche) et technologies hermétiques promues par le CIMMYT au Mexique (à droite).  
© CIMMYT



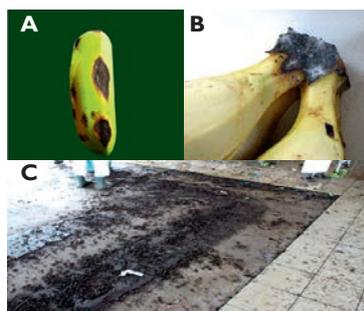
## Reconstruire les pratiques post-récolte de la banane d'exportation en intégrant les contraintes agroécologiques

La demande des consommateurs pour des fruits et légumes n'ayant reçu aucun traitement chimique est en constante augmentation. La filière développe en conséquence de nombreux labels afin de réinstaurer la confiance des consommateurs. Comment associer un haut niveau de qualité attendu par tous les intervenants de la filière banane et proposer en parallèle une rupture en adoptant une approche agroécologique du champ jusqu'à l'assiette ? Ce futur challenge est au centre des questions de recherche portées par l'UMR QualiSud. En effet, les bananes présentent une grande sensibilité aux maladies de conservation et aux attaques fongiques en particulier comme l'antracnose (photo A) ou les pourritures de couronne (photo B).

Repenser toutes les pratiques post-récolte par des pratiques agroécologiques<sup>(1)</sup> nécessite d'aborder ce challenge par une approche intégrée. Il s'avère en effet que seule une démarche globale permettra de proposer un produit de haute qualité aux consommateurs respectant ces pratiques environnementales. Le stade de récolte, mais également les conditions sanitaires en station de conditionnement (photo C), devront absolument

être optimisés pour réduire le plus en amont possible les risques de contamination fongique. Ces mesures prophylactiques, si elles apparaissent incontournables, ne seront pas suffisantes en elles-mêmes pour concurrencer efficacement le contrôle chimique de la pression fongique. **Le stade de récolte étant le fruit d'un compromis entre le rendement de production, la durée**

**de vie verte<sup>(2)</sup> du fruit et sa sensibilité aux maladies de conservation, il sera donc au centre de cette approche intégrée. L'étape de transport devra être encore optimisée en couplant notamment des atmosphères contrôlées avec des techniques oxydatives comme l'ozone.** L'abandon du « levier chimique » sera à la source de nombreuses difficultés mais également d'opportunités. La suppression de tous les traitements chimiques sans exception créera un cercle vertueux en rétablissant la confiance mais en stimulant aussi l'innovation.



▲ Photo A. Antracnose de la banane Cavendish.  
Photo B. Pourriture de couronne de la banane Cavendish.  
Photo C. Accumulation de pistils source d'une contamination au Colletotrichum musae en station de conditionnement. © P. Brat

### Contact

Pierre Brat (QualiSud, Cirad, France), pierre.brat@cirad.fr

### Plus d'informations

(1) Lassois L., Jijakli M.H., Chillet M., De Lapeyre de Bellaire L., 2010. Crown rot of bananas: preharvest factors involved in postharvest disease development and integrated control methods. *Plant disease*, 94(6): 648-658.

(2) Brat P., Bugaud C., Guillermet C., Salmon F., 2020. Review of banana green life throughout the food chain: from auto-catalytic induction to the optimisation of shipping and storage conditions. *Scientia Horticulturae*, 262: 109054.

## Favoriser la circulation des semences pour une agriculture durable

Du local au global



▲ Diversité des grains de sorgho au Cameroun. © A. Barnaud/IRD

Les réseaux de semences paysannes contribuent de façon substantielle à la diversité des cultures depuis l'origine de l'agriculture. Ils constituent un moyen efficace d'accéder aux semences, non seulement localement entre agriculteurs, mais aussi sur de longues distances, comme l'illustrent les introductions historiques (par exemple, la diffusion de l'agriculture en Afrique subsaharienne avec la migration des Bantous) et récentes (exemple du riz africain comme héritage agricole des esclaves aux Amériques). Cette circulation des semences a permis aux agriculteurs de remodeler leurs cultures - par la sélection, la

culture et autres échanges de semences - et de les adapter. Cependant, le rôle des réseaux de semences paysannes - au sein desquels 80 à 90 % de l'ensemble des semences circulent encore - sur la conservation de la biodiversité et le développement d'une agriculture durable en réponse au changement climatique, n'est pris en compte que depuis peu par les chercheurs et les décideurs politiques<sup>(1)</sup>. À travers plusieurs projets de recherche en cours en Afrique de l'Ouest (Cerao, Coex, Amma2050, SeedAttach)\*, nous avons évalué le rôle de la diversité des cultures et des systèmes semenciers paysans dans le renforcement de la résilience au changement climatique. À l'échelle locale au Sénégal, nos résultats ont mis en évidence que les réseaux sociaux familiaux et de voisinage, ont joué un rôle central dans la réintroduction d'une variété de mil à cycle long, offrant aux agriculteurs une nouvelle option de stratégie culturale axée sur l'adaptation au changement climatique. Ainsi, les systèmes de semences paysannes doivent être préservés pour leurs fonctions et services rendus au sein des agrosociosystèmes. À l'échelle régionale, en cartographiant la vulnérabilité génétique projetée du millet perlé à l'horizon 2050, nous avons montré que les agriculteurs devront probablement s'approvisionner en semences au-delà de leurs aires

sociales traditionnelles afin de mieux répondre à leurs besoins d'adaptation variétale au changement climatique<sup>(2)</sup>. L'utilisation de ressources génétiques adaptées doit être mise en œuvre à différentes échelles tout en respectant la diversité en matière de systèmes de valeurs et de droits d'accès pour de multiples acteurs<sup>(3)</sup>. **Cette recherche a mis en évidence le rôle des systèmes semenciers paysans dans la relance de la diversité des cultures, l'autonomisation des agriculteurs locaux et la nécessité de les prendre en compte dans les politiques en matière de semences et de conservation des ressources génétiques.**

\* Amma2050, African Monsoon Multidisciplinary Analysis 2050 (Natural Environment Research Council/UKAID) : [www.amma2050.org/fr/Home](http://www.amma2050.org/fr/Home)  
Cerao, Self-adaptation of tropical agro-socio-ecosystems to global changes? A long term study for ecological intensification of cereal production in West African savannas (ANR) : [https://anr.fr/en/funded-projects-and-impact/funded-projects/project/funded/project/b2d9d3668f92a3b9fbbf7866072501ef-f76a020d40?tx\\_anrprojects\\_funded%5Bcontroller%5D=Funded&cHash=c32e0eea8f12931b19f0a101161168a3](https://anr.fr/en/funded-projects-and-impact/funded-projects/project/funded/project/b2d9d3668f92a3b9fbbf7866072501ef-f76a020d40?tx_anrprojects_funded%5Bcontroller%5D=Funded&cHash=c32e0eea8f12931b19f0a101161168a3)

Coex, Adaptive Governance for the Coexistence of Crop Diversity Management System (Agropolis Fondation) : [www.agropolis-fondation.fr/CoEX-418?lang=fr](http://www.agropolis-fondation.fr/CoEX-418?lang=fr)  
SeedAttach (Agropolis Fondation), Community seed banks for social justice and conservation of biodiversity? Networks of actors and dynamics of seed attachment

### Contacts

Adeline Barnaud (Diade, IRD, France), [adeline.barnaud@ird.fr](mailto:adeline.barnaud@ird.fr)

Frédérique Jankowski (Sens, Cirad, France), [frederique.jankowski@cirad.fr](mailto:frederique.jankowski@cirad.fr)

Christian Leclerc (Agap, Cirad, France), [christian.leclerc@cirad.fr](mailto:christian.leclerc@cirad.fr)

### Plus d'informations

(1) Coomes O.T. et al., 2015. Farmer seed networks make a limited contribution to agriculture? Four common misconceptions. *Food Policy*, 56: 41-50. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2015.07.008>

(2) Rhoné B., Defrance D., Berthouly-Salazar C., et al., 2020. Pearl millet genomic vulnerability to climate change in West Africa highlights the need for regional collaboration. *Nat Commun*, 11: 5274. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19066-4>

(3) Jankowski F., Louafi S., Kane N.A., et al., 2020. From texts to enacting practices: defining fair and equitable research principles for plant genetic resources in West Africa. *Agric Hum Values*, 37: 1083-1094. <https://doi.org/10.1007/s10460-020-10039-3>



▲ Récolte du sorgho au Cameroun. © A. Barnaud/IRD

## Agriculture de conservation et rendements du maïs en Afrique subsaharienne

L'agriculture de conservation (AC) est promue en Afrique subsaharienne comme une pratique agroécologique qui augmente la productivité des cultures de manière durable. L'AC n'est pas juste une simple technologie, mais un ensemble de pratiques de gestion dont la mise en œuvre varie selon les agriculteurs. Ses effets sur le rendement des cultures sont ainsi complexes. Nous avons réalisé une méta-analyse sur les effets des trois principes de l'AC - absence de travail du sol, paillage et rotation des cultures/culture intercalaire - reliés aux pratiques de gestion et

aux contextes, sur la productivité du maïs en Afrique subsaharienne<sup>(1)</sup>. **Nous avons constaté une augmentation moyenne significative de 8,4 % des rendements de maïs lorsque les trois principes de l'AC étaient mis en œuvre de façon concomitante.** Les augmentations des rendements culturaux résultent principalement du paillage et des rotations culturales ou des cultures intercalaires (voir figure page suivante). Les bénéfices liés à l'AC sur les rendements sont plus importants dans des conditions de précipitations limitées et sans application d'herbicides. Le paillage avec des

résidus de culture fournit une couverture végétale et apporte de la matière organique au sol, améliorant ainsi son fonctionnement, ce qui peut augmenter la productivité des cultures, en particulier dans les systèmes de culture à faible niveau d'intrants et avec des apports externes limités en nutriments. Le paillage réduit également les pertes d'eau par évaporation et augmente l'infiltration de l'eau dans le sol, de sorte que les cultures utilisent plus efficacement les précipitations.

suiv.

Les rotations culturales et les cultures intercalaires perturbent les habitats et les cycles de vie des nuisibles et des maladies, et le système de culture bénéficie de niveaux d'azote plus élevés dans le sol lorsque des légumineuses sont intégrées dans la rotation. Les traitements herbicides améliorent les performances de l'AC, car le désherbage chimique est généralement plus efficace que le désherbage mécanique (manuel) pour gérer une pression accrue des mauvaises herbes en l'absence de travail du sol. Toutefois, l'adoption du paillage et de la rotation culturale n'est pas facile pour de nombreux petits exploitants d'Afrique subsaharienne qui gèrent des systèmes de polyculture-élevage. Les résidus de culture ont alors d'autres usages dans les exploitations, notamment pour l'alimentation du bétail. Les légumineuses sont souvent négligées comme cultures de rotation ou intercalaires, car il n'y a pas de marchés fonctionnels pour les vendre. Enfin, les problèmes de durabilité liés à l'utilisation d'herbicides soulignent la nécessité de trouver d'autres stratégies efficaces de lutte contre les mauvaises herbes pour les petits exploitants qui adoptent l'AC.

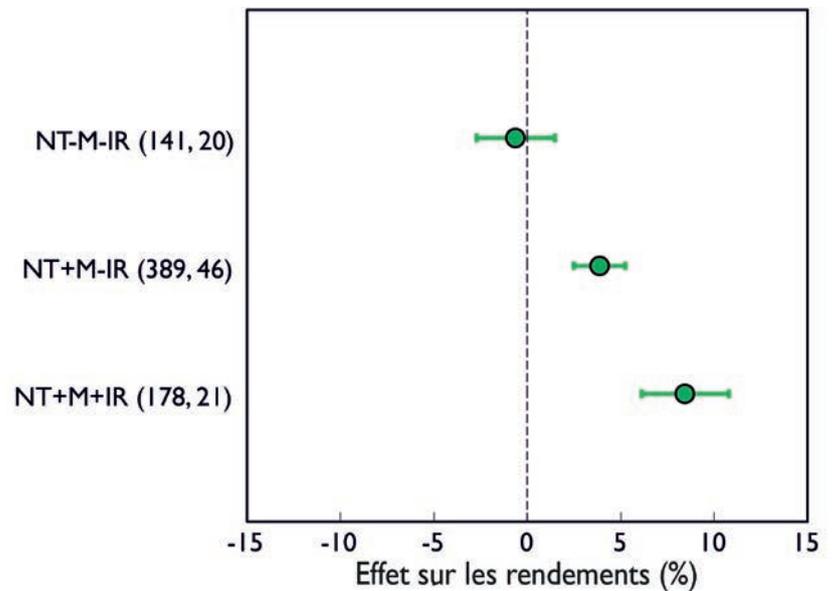
#### Contacts

Marc Corbeels (Aida, Cirad, France),  
marc.corbeels@cirad.fr

Krishna Naudin (Aida, Cirad, France),  
krishna.naudin@cirad.fr

#### Plus d'informations

(1) Corbeels M., Naudin K., Whitbread A.M. et al., 2020. Limits of conservation agriculture to overcome low crop yields in sub-Saharan Africa. *Nat Food*, 1: 447-454. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-0114-x>



▲ Effets de l'agriculture de conservation (AC) par rapport au travail conventionnel du sol sur le rendement en grains de maïs selon différents principes combinés d'AC.

NT-M-IR : aucun travail du sol ou travail du sol réduit, sans paillage (résidus de culture), sans rotation des cultures ni culture intercalaire.

NT+M-IR : aucun travail du sol ou travail du sol réduit, avec paillage (résidus de culture), sans rotation des cultures ni culture intercalaire.

NT+M+IR : aucun travail du sol ou travail du sol réduit, avec paillage (résidus de culture), avec rotation des cultures ou culture intercalaire.

Les valeurs représentent les effets moyens avec des intervalles de confiance de 95 %. Le nombre d'observations et d'études par catégorie est indiqué entre parenthèses. Source : Corbeels et al. (2020).

## Des arbres tuteurs pour les haricots grimpants au Rwanda

La croissance démographique et la fragmentation des terres (taille des exploitations de 0,3 à 0,6 ha) au Rwanda ont entraîné une baisse de la productivité agricole et une augmentation de la faim et de la malnutrition, avec 38 % des enfants de moins de 5 ans souffrant d'un retard de croissance. Le Rwanda a la plus forte consommation de haricots au monde (29 kg par personne et par an). Les haricots grimpants et les haricots nains sont bon marché et très nutritifs. En outre, la production verticale des haricots grimpants améliore l'efficacité de l'utilisation des terres par rapport aux haricots nains, avec des rendements de 0,5 à 2 fois supérieurs. Malgré cela, la culture des haricots grimpants est entravée par un approvisionnement en tuteurs faible ou inadéquat du fait d'autres besoins concurrents (notamment en bois de chauffage) et par la forte demande en fourrage dans le cadre du programme « One cow-per-poor-family »\*.

Pour remédier durablement à cette situation, le projet « Trees4FoodSecurity »\*\*, avec une approche participative, a mené une série d'interventions agroforestières dans les districts semi-arides de Bugesera et les districts humides de Gishwati afin de fournir des tuteurs selon les différents contextes. Au total, 540 essais participatifs, impliquant 387 agriculteurs, ont été mis en place. À Gishwati, les rendements des haricots avec des arbres tuteurs d'*Alnus acuminata* ont atteint **1,7-2,2 t/ha**, contre **1,4-1,9 t/ha** avec ceux couramment utilisés de *Pennisetum purpureum*. Sur différents sites du district de Bugesera (secteurs de Musenyi, Juru, Rweru et Nyamata), **l'utilisation de tuteurs a permis d'augmenter les rendements des haricots de 0,7 t/ha (haricots nains) jusqu'à un maximum de 2,5 t/ha (haricots grimpants)**, selon le type de tuteur et l'emplacement de la parcelle. Les différentes espèces de tuteurs comprenaient *Senna*

*spectabilis*, *Gliricidia sepium*, *Calliandra calothyrsus*, *Grevillea robusta*, *Vernonia amygdalina* et *Lantana camara*, les deux dernières espèces induisant des rendements inférieurs, probablement en raison de piquets moins solides et plus courts. Indépendamment du tuteurage, les rendements étaient plus élevés dans le secteur plus humide de Rweru que dans celui de Musenyi plus sec. Cette étude a clairement démontré que l'agroforesterie offre un moyen rentable et durable d'améliorer la production de haricots, et ainsi la sécurité alimentaire, nutritionnelle et environnementale au Rwanda. L'identification de variétés de haricots grimpants bien adaptées aux conditions environnementales semi-arides du Bugesera est recommandée.

\* Une vache par famille pauvre.

\*\* Trees4FoodSecurity project : <https://bit.ly/2xOwwzV>

▼ Haricots grimpants et haricots nains à Juru Bugesera, Rwanda. © J. Nyaga, Rwanda

#### Contacts

Catherine W. Muthuri (ICRAF, CGIAR, Kenya),  
c.muthuri@cgiar.org

Athanse Mukuralinda (ICRAF, CGIAR, Kenya),  
a.mukuralinda@cgiar.org

Fergus Sinclair (ICRAF, CGIAR, Kenya/ Université de Bangor, Royaume-Uni),  
f.sinclair@cgiar.org

#### Plus d'informations

• [www.worldagroforestry.org/blog/2020/04/03/more-stakes-more-climbing-beans-less-malnutrition-rwanda-finds-solution](http://www.worldagroforestry.org/blog/2020/04/03/more-stakes-more-climbing-beans-less-malnutrition-rwanda-finds-solution)

• Musoni A., Kayumba J., Butare L., Mukamuhirwa F., Murwanashyaka D., Kelly J.D., Ininda J., Gahakwa D., 2014. Innovations to overcome staking challenges to growing climbing beans by smallholders in Rwanda. In Vanlauwe B. et al. (eds.): *Challenges and opportunities for agricultural intensification of the humid highland systems of Sub-Saharan Africa*. Springer International Publishing, Heidelberg.



# L'agroécologie dans les plaines irriguées d'Afrique du Nord

Cartographier les pratiques prometteuses et caractériser les logiques paysannes

Dans les plaines irriguées d'Afrique du Nord, la durabilité des ressources productives est soumise à de multiples menaces liées au modèle productiviste dominant, à savoir l'agriculture irriguée. Ces menaces – telles que la dégradation des sols et l'accès inégal aux ressources, aux marchés et à l'information – incitent les agriculteurs à mobiliser des ressources naturelles en voie d'épuisement, notamment le sol et l'eau, souvent de façon non durable sur le plan environnemental. Les agriculteurs adaptent parfois leurs stratégies en mettant en œuvre des pratiques agricoles alternatives afin de maintenir leurs systèmes agricoles et leurs revenus. Un groupe de chercheurs, mené par l'unité mixte de recherche G-EAU (Montpellier, France), a cartographié et analysé ces pratiques agricoles locales présentant un potentiel agroécologique. L'approche a consisté à réaliser des observations directes combinées à 150 entretiens avec des agriculteurs dans trois grandes régions de plaines irriguées d'Afrique du Nord, à savoir les plaines de Merguellil (Tunisie), du Haut-Cheliff (Algérie) et de Saïss (Maroc). Les résultats ont montré qu'il existe – ou est en train d'émerger – un large éventail de pratiques alternatives ayant un potentiel agroécologique, contrairement au modèle prédominant d'agriculture intensive. Les pratiques les plus courantes visent l'amélioration

de la gestion de la fertilité des sols (production de thé de compost, intégration de légumineuses dans les successions culturales), l'augmentation de la production agricole par hectare (cultures intercalaires, cultures dérobées, agroforesterie), ou la fourniture de services écosystémiques multiples (diversification, intégration du bétail). Ces pratiques sont mises en œuvre conjointement pour (i) augmenter l'efficacité de l'utilisation des terres, remédiant ainsi à la fragmentation des terres ; (ii) diversifier les stratégies culturales et diminuer les risques liés au marché ; et (iii) réduire les coûts de production élevés liés à l'irrigation et à la fertilisation chimique. Les différences importantes observées dans l'adoption de ces pratiques dans les trois sites étudiés, suggèrent une forte influence des facteurs sociopolitiques et historiques contrastés aux niveaux régional et national. L'analyse des justifications des agriculteurs quant à la mise en œuvre de ces pratiques a révélé que les impératifs économiques priment sur les préoccupations environnementales. À ce titre, ces pratiques peuvent être considérées comme un moyen d'accéder (i) à des stratégies à faible coût pour les petits exploitants agricoles ou (ii) aux marchés internationaux pour les exploitants agro-industriels. La prise de conscience de ces vastes connaissances locales liées aux stratégies

d'intensification écologique, telles qu'identifiées ici, pourrait contribuer à ouvrir la voie à une agriculture plus durable dans cette région du monde où domine l'agriculture intensive.

## Contacts

Fatah Ameur (Centre de recherche en économie appliquée pour le développement, Cread, Algérie),  
ameur\_fatah@hotmail.com

Hichem Amichi (Lisst, Université de Toulouse, France),  
hichem.amichi@purpan.fr

Crystele Leauthaud (G-EAU, Cirad, France),  
rystele.leauthaud@cirad.fr

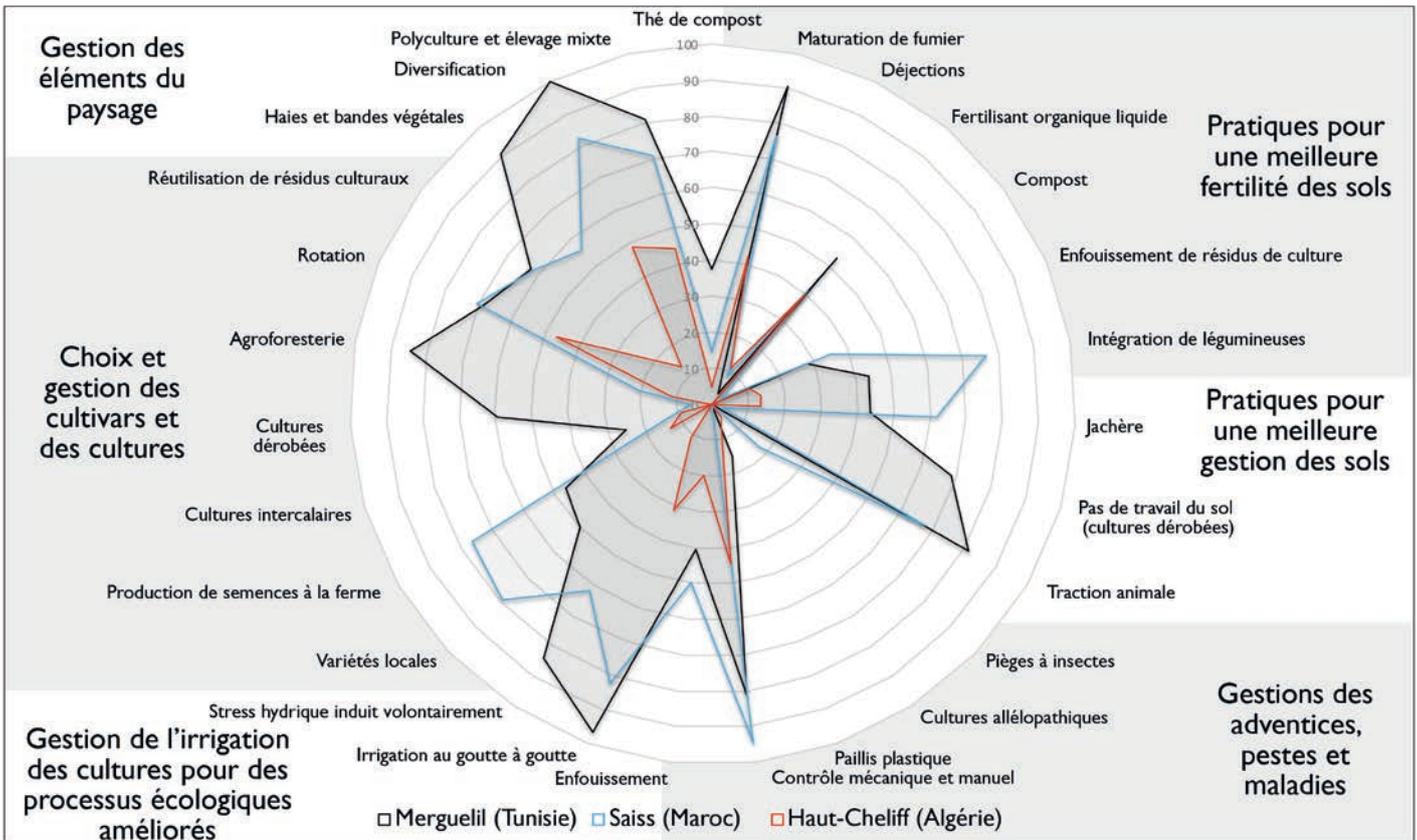
## Plus d'informations

• Akakpo K., Bouarfa, S., Benoît M., Leauthaud C., 2021. Challenging agroecology through the characterization of farming practices' diversity in Mediterranean irrigated areas. *European Journal of Agronomy*, 128: 26284.

• Ameur F., Amichi H., Leauthaud C., 2020. Agroecology in North African irrigated plains? Mapping promising practices and characterizing farmers' underlying logics. *Regional Environmental Change*, 20(4): 1-17.

• Leauthaud C., Akakpo K., Ameur F., 2020. Des pratiques agroécologiques invisibles en milieu irrigué en Tunisie : exemple de la plaine du Merguellil. In: Bouarfa S. et al. (coord.) : *Quelles agricultures irriguées demain ? Répondre aux enjeux de la sécurité alimentaire et du développement durable*. Éditions Quae, France, 212 p.

• Site internet du projet : <http://viana.cirad.fr/>



# Chapitre 2

## Substituer l'utilisation intensive d'intrants par les fonctions écosystémiques issues de la biodiversité

L'un des principes fondamentaux de l'agroécologie consiste à accroître les performances des cultures en renforçant les fonctions écosystémiques associées à l'agrobiodiversité disponible. Ce processus « d'intensification écologique » augmente la production de biomasse en améliorant les cycles des nutriments et de l'eau et en luttant contre les ravageurs et maladies, avec une utilisation d'intrants maintenue au strict minimum. Ce chapitre présente des résumés de recherches qui s'inscrivent dans le **deuxième niveau de transition de Gliessman**, qui vise à « substituer les produits et pratiques à forte intensité d'intrants, dégradant l'environnement, par d'autres plus renouvelables, reposant sur des produits naturels et plus respectueux de l'environnement [.....]. Les pratiques alternatives incluent l'utilisation de plantes fixatrices d'azote et de rotations culturales afin de remplacer les engrais azotés synthétiques, le contrôle naturel des ravageurs et maladies, et l'utilisation de composts organiques dans la gestion de la fertilité et de la matière organique des sols ».

À ce niveau, l'accent est essentiellement mis sur le système de culture (plus rarement sur le système de production) et les changements de pratiques concernent principalement certains aspects spécifiques de la production : dynamique des nutriments, protection contre les ravageurs, efficacité de l'eau, etc. Six principes HLPE sont essentiellement appliqués dans ces innovations, à savoir le recyclage, la réduction des intrants, la santé des sols, la santé animale, la biodiversité et la synergie et, dans certains cas, la co-création de connaissances quand il s'agit d'une innovation participative. Le principe le plus important utilisé ici est la diversification et l'idée générale est de mobiliser ou d'amplifier les fonctions écosystémiques tout en minimisant l'utilisation d'intrants largement utilisés dans les systèmes de production intensifs. Les agriculteurs sont les principaux acteurs impliqués dans ce niveau de transformation.

Le processus de substitution des intrants dépend fortement du système de culture considéré et du contexte local. Les voies de transformation pour mettre en œuvre ce 2<sup>e</sup> niveau de transition peuvent différer sensiblement car il existe plusieurs situations de départ et différents rythmes de changement. Par exemple, dans un système de production à faible niveau d'intrants, l'accent serait davantage mis sur la recherche de moyens pour intensifier et augmenter les rendements sans recourir à une utilisation excessive d'intrants. En revanche, dans un système intensif à haut niveau d'intrants, l'objectif serait de trouver des moyens pour réduire l'utilisation d'intrants et de les remplacer par des fonctions biologiques et agroécologiques, sans perte ou réduction significative de rendement.

Les recherches portant sur cette étape de substitution peuvent être classées en trois catégories :

**Régulation biologique des ravageurs et des maladies** : la gestion des ravageurs et des maladies des cultures est un facteur clé du rendement final. On prétend qu'il est « pratique » d'utiliser des pesticides, c'est-à-dire qu'un seul produit peut être conçu pour éliminer toute une série de ravageurs, de pathogènes, de mauvaises herbes, etc. Une connaissance approfondie des fonctionnalités en jeu dans les communautés vivantes est alors nécessaire pour remplacer les pesticides ou en minimiser l'utilisation, par exemple via une régulation rendue possible par l'utilisation de la biodiversité. Plusieurs exemples sont présentés dans ce chapitre. En général, l'augmentation de la diversité variétale et l'optimisation de sa structure dans les couverts végétaux sur le terrain sont des stratégies peu coûteuses pour réduire l'impact des ravageurs et maladies (de Santis *et al.*). Cela est illustré dans les Highlands d'Éthiopie, où les diversifications temporelle et variétale ont diminué l'impact des épidémies de rouille dans les cultures de blé ou encore l'impact de la plante parasite *Orobanche crenata* sur les cultures de légumineuses alimentaires tempérées (Kemal *et al.*). L'utilisation d'espèces auxiliaires pour lutter contre les ravageurs et les maladies peut constituer une deuxième étape : à la Réunion, l'augmentation de la biodiversité - animale, végétale et microbienne - à proximité des cultures, sur et dans le sol, permet de réduire considérablement, voire parfois supprimer, l'usage des pesticides en horticulture (Deguine *et al.*). Dans le sud de l'Europe, l'introduction prudente et la production de masse de *Cotesia typhae*, une nouvelle espèce de parasitoïde qui s'attaque à la sésamie du maïs (*Sesamia nonagrioides*), sont prometteurs (Kaiser *et al.*). Toutefois, décider de l'utilisation de ces outils ne dépend pas seulement de leur efficacité, les agriculteurs concernés peuvent en effet être « prisonniers » dans leurs pratiques techniques en raison de contraintes externes (Navarrete *et al.*). Ces techniques agroécologiques sont parfois complexes et nécessitent des recherches approfondies en physiologie végétale et animale. À Madagascar, combiner l'apport de silice et une activité accrue des vers de terre améliore la tolérance des cultures de riz à la pyriculariose (*Pyricularia* sp.) qui disparaît dès que des engrais azotés sont appliqués (Blanchart). La biodiversité du sol est essentielle à la santé des cultures et aux microbiomes rhizosphériques qui, lorsqu'ils sont enrichis en microbes favorisant la croissance des plantes, procurent de multiples bénéfices : croissance induite des plantes, défense contre les maladies et survie en cas de stress (Gopalakrishnan *et al.*). La lutte biologique, via l'utilisation d'extraits de plantes dans les cultures, est également une voie intéressante à explorer (Silvie et Martin).

▼ Agroécologie au Sénégal. © T. Chevallier/IRD



**Réduire la dépendance à des intrants coûteux** : la fertilité des sols est l'un des éléments les plus importants des systèmes de production, ce qui explique l'utilisation massive de fertilisants dans les systèmes de culture conventionnels. Des approches alternatives, basées sur les principes agroécologiques de recyclage, de diversification et de gestion de la santé des sols, peuvent réduire considérablement l'utilisation d'intrants. Cela est illustré par différents exemples de recherche : la gestion précise des apports de fumier dans les sols sahéliens (Lardy *et al.* ; Masse) ; le *priming effect* pour améliorer la minéralisation de la matière organique essentielle à la santé du sol et à la disponibilité en nutriments (Bernard et Maron) ; l'utilisation optimisée de résidus de culture associés à des couvertures de légumineuses dans les plantations industrielles de palmiers, où les apports d'engrais représentent jusqu'à 80 % du coût total de la culture (Bessou) ; ou encore le compostage de résidus de culture avec du fumier dans les systèmes rizicoles intensifs de la région du Mékong (Nguyen *et al.*). Il est également démontré que la fertilité des sols et les rendements des cultures sont nettement améliorés dans les systèmes agroforestiers : les associations avec des arbres de *Ziziphus mauritiana* dans les régions sahéliennes améliorent l'efficacité de l'utilisation des eaux pluviales, la fertilité des sols et les rendements du mil, tout en maintenant la teneur en carbone organique des sols (Bado *et al.* ; voir également le chapitre 3 page 50). Bien que l'introduction d'arbres dans les cultures nécessite des arrangements fonciers novateurs à la fois pour les terres et les arbres (Chomba *et al.*) ainsi qu'un investissement et un soutien financier à long terme, elle permet d'augmenter considérablement les revenus des agriculteurs en quelques années, améliorant ainsi les moyens de subsistance de leur famille (La *et al.*). Les associations avec des légumineuses améliorent également la fertilité des sols et l'utilisation de bio-inoculants peut accroître le rendement des cultures à condition que leur qualité soit contrôlée (Herrmann *et al.*). La diversification dans les régions affectées par le changement climatique peut enfin bénéficier à la gestion de l'eau (Devkota et Nangia).

**Substituer les intrants les plus nocifs pour l'environnement** : la lutte contre les ravageurs et les maladies à l'aide de pesticides constitue une importante source de pollution et de risques pour la santé sous les tropiques, et remplacer ces produits chimiques dangereux constitue un objectif fondamental de l'agroécologie. Cet aspect est illustré dans cette partie par des démarches agroécologiques mises en œuvre pour contrôler la dévastatrice chenille légionnaire d'automne (*Spodoptera frugiperda*) : en Afrique, grâce à des stratégies intégrées (amélioration de la santé des plantes par une meilleure fertilité des sols, diversification des exploitations et des paysages pour favoriser ses ennemis naturels

et augmenter leur efficacité [Harrison]) ; en Inde, la combinaison de différents outils pour contrôler les légionnaires d'automne sans utiliser d'insecticides semble très prometteuse (Jaba *et al.*) ; au Mexique, des pièges à phéromones sont utilisés (Fonteyne *et al.*). L'essor actuel de la production de légumes en Afrique subsaharienne repose sur une lutte chimique intensive ; des méthodes agroécologiques sont désormais employées pour réduire cette dépendance aux intrants chimiques. Un exemple concerne l'utilisation de filets anti-insectes abordables et de faible technicité qui protègent les plantes contre les ravageurs et les conditions climatiques extrêmes (Deletre *et al.*). La future gestion des ravageurs et des mauvaises herbes dans les pays du Sud sera évolutive et reposera sur une combinaison de solutions naturelles et d'outils numériques abordables grâce aux téléphones portables et adaptés aux agriculteurs peu alphabétisés (Tamò et Chikoye ; Malézieux).

En élevage, l'utilisation parfois massive de produits chimiques pour lutter contre les parasites et ravageurs des cultures a des impacts majeurs sur la santé et l'environnement, notamment par le développement de résistances aux antibiotiques. Des changements drastiques des systèmes de production sont ainsi nécessaires parallèlement à l'adoption d'approches « *one health* » (Ducrot *et al.*). Deux exemples d'alternatives sont présentés dans cette partie : l'utilisation prometteuse d'écrans et d'appâts toxiques colorés pour lutter contre les mouches hématophages qui peuvent transmettre de nombreuses maladies à l'homme et au bétail (Desquesnes *et al.*) ; et la diversification des espèces végétales des pâturages afin de réduire les épidémies de parasites des moutons, chèvres, équidés et bovins, réduisant ainsi de manière significative les traitements anthelminthiques (Dumont *et al.*). L'aquaculture fait également une utilisation importante d'intrants dangereux. Pourtant, il existe des solutions d'intensification écologique de l'aquaculture basées sur une diversification optimisée des liens trophiques et sur l'intégration avec d'autres types de production (Caruso *et al.*).

Les différentes parties de ce chapitre détaillent des exemples d'interventions agroécologiques relatives à ces trois catégories de recherche qui s'intéressent à l'étape et au principe de substitution.

**Kwesi Atta-Krah** (IITA, CGIAR)

**Étienne Hainzelin** (Direction générale, Cirad)



# Régulation biologique des ravageurs et des maladies

## L'agroécologie et les mélanges variétaux pour réduire les dommages causés par les agents pathogènes

Les monocultures à grande échelle - démarrées par la révolution verte et les nouvelles technologies disponibles - sont une caractéristique majeure du processus d'intensification agricole. Ce phénomène a conduit à une augmentation remarquable de la production alimentaire au cours du siècle dernier. Malgré l'augmentation de la productivité agricole, cette tendance à l'uniformisation et à l'utilisation accrue d'intrants agricoles, notamment pour lutter contre les ravageurs et maladies, a eu d'importants effets collatéraux néfastes sur le fonctionnement des écosystèmes, comme la réduction des organismes bénéfiques. Malgré les progrès technologiques tels que la sélection de variétés hautement résistantes, la réduction de la diversité a un impact négatif sur les performances et la résilience des systèmes agricoles, en particulier pour les petits exploitants agricoles des zones agroécologiques pluviales marginales. Un nombre croissant de publications montrent la meilleure efficacité des multilignées, des mélanges variétaux et des variétés aux résistances variées, par rapport aux cultures pures, pour lutter contre les maladies et améliorer les rendements culturaux dans les systèmes à petite et moyenne échelles. Cette efficacité est particulièrement nette contre les agents pathogènes aériens (par exemple,

la rouille et l'oïdium qui affectent les cultures de céréales à petits grains).

La diversité variétale constitue une stratégie peu coûteuse pour réduire l'impact des ravageurs et maladies, dont les attaques sont amoindries par les réponses hétérogènes des variétés déployées sur le terrain. **Plusieurs facteurs contribuent à l'efficacité de la diversité intraspécifique pour réduire les dommages causés par les ravageurs et les maladies, notamment le nombre et le type de variétés qui doivent varier en termes de vulnérabilité, quantité, distribution et arrangement dans la parcelle.** Les mélanges variétaux contribuent à réduire l'incidence des ravageurs et la gravité des maladies en limitant la capacité des agents infectieux à attaquer l'hôte, en réduisant la gravité de l'infestation et en restreignant la population de pathogènes et sa capacité à évoluer et à surmonter la résistance de l'hôte. Une étude menée sur le haricot commun en Ouganda a montré qu'un mélange aléatoire systématique des variétés (50 % d'une variété résistante) réduisait significativement les dégâts de la mouche du haricot sur la variété sensible. En outre, la réduction des dégâts était souvent corrélée à des rendements plus élevés. La diversité variétale

rend moins nécessaire l'utilisation de pesticides et contribue à maintenir un environnement sain, ce qui entraîne à son tour une augmentation des ennemis naturels, tout en réduisant le développement de la résistance aux insecticides des ravageurs et pathogènes.

### Contacts

Paola De Santis (Alliance of Bioversity International and CIAT, CGIAR, Italie), p.desantis@cgiar.org

Rose Nankya (Alliance of Bioversity International and CIAT, CGIAR, Ouganda), r.nankya@cgiar.org

Devra I. Jarvis (Platform for Agrobiodiversity Research, Italie/Université d'État de Washington, USA), d.jarvis@cgiar.org

### Autres auteurs

Paolo Colangelo (Conseil national de la recherche - Institut d'études des écosystèmes terrestres, Italie)

John Wasswa Mulumba (Organisation nationale de recherche agricole, Ouganda)

Loubna Belqadi (Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan-II, Maroc)

José Ochoa (Institut national de la recherche agronomique, INIAP, Équateur)

Carmen Suarez Capello (Université technique d'État de Quevedo, Équateur)

Yunyue Wang (Université agricole du Yunnan, Chine)

Hua Xian Peng (Académie des Sciences agricoles du Sichuan, Chine)

Carlo Fadda et Keyu Bai (Alliance of Bioversity International and CIAT, Kenya et Chine respectivement)

### Plus d'informations

• Jarvis D.I., Padoch C., Cooper H.D. (eds.), 2007. *Managing biodiversity in agricultural ecosystems*. Columbia University Press.

• Mulumba J.W., Nankya R., Adokorach J., Kiwuka C., Fadda C., De Santis P., Jarvis D.I., 2012. A risk-minimizing argument for traditional crop varietal diversity use to reduce pest and disease damage in agricultural ecosystems of Uganda. *Agriculture, ecosystems & environment*, 157: 70-86.

• Ssekandi W., Mulumba J.W., Colangelo P., Nankya R., Fadda C., Karungi J., Otim M., De Santis P., Jarvis D.I., 2015. The use of common bean (*Phaseolus vulgaris*) traditional varieties and their mixtures with commercial varieties to manage bean fly (*Ophiomyia* spp.) infestations in Uganda. *Journal of Pest Science*: 1-13.

▼ Des agriculteurs évaluent différentes variétés de haricots communs à Nakaseke, Ouganda. © D.I. Jarvis





## Gestion des ravageurs émergents par la diversification culturelle dans les systèmes de culture à base de blé de la Corne de l'Afrique et de la région MENA

Traditionnellement, les petits exploitants agricoles du Moyen-Orient et d'Afrique du Nord (MENA pour *Middle East and North Africa*) cultivent différentes espèces de plein champ pour l'alimentation, les revenus, la fertilité des sols et l'alimentation animale. Toutefois, l'augmentation des incitations gouvernementales et la forte demande du marché ont amené les agriculteurs à cultiver du blé, année après année, sur de vastes étendues de terres arables, tandis que la demande en légumineuses alimentaires est satisfaite par des importations massives. Dans de nombreuses régions du MENA, la monoculture du blé a induit des problèmes de production chroniques entraînant une mauvaise santé des sols et des épidémies de rouille qui provoquent des pertes de récolte et des coûts de production élevés. La réduction de la

### Contacts

Seid Kemal (ICARDA, CGIAR, Maroc), s.a.kemal@cgiar.org

Zewdie Bishaw (ICARDA, CGIAR, Éthiopie), z.bishaw@cgiar.org

Kindu Mekonnen (ILRI, CGIAR, Éthiopie), k.mekonnen@cgiar.org

### Plus d'informations

• Bishaw Z., Yigezu Y.A., Niane A., Telleria R.J., Najjar D. (eds), 2019. Political economy of the wheat sector in Morocco: seed systems, varietal adoption, and impacts. ICARDA, Beirut, 300 p. <https://repo.mel.cgiar.org/handle/20.500.11766/8505>

• Michler J.D., Josephson A.L., 2017. To specialize or diversify: agricultural diversity and poverty dynamics in Ethiopia. *World Development*, 89: 214-226. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2016.08.011>

### Financements

1. La diversification du système de culture à base de blé des hauts plateaux éthiopiens a été financée par le projet Africa Rising/USIAD au travers d'ILRI. <https://africa-rising.net/category/ilri/>

2. La gestion des plantes parasites sur les légumineuses alimentaires en Éthiopie a été financée par Agricultural Innovation MKTPlace, Embrapa-Brésil. [www.embrapa.br/en/marketplace](http://www.embrapa.br/en/marketplace)

diversification culturelle et variétale oblige également les agriculteurs à acheter des légumineuses plus chères pour satisfaire les besoins alimentaires des ménages des régions montagneuses d'Afrique de l'Est. La diversification des cultures est nécessaire à la fois pour éviter des pénuries de cultures importantes pour la sécurité nutritionnelle mais aussi pour atténuer le changement climatique et les systèmes agricoles qui favorisent les nouvelles maladies, les mauvaises herbes et insectes nuisibles.

Deux interventions ont été menées pour diversifier les monocultures du blé et pour gérer les plantes parasites des légumineuses alimentaires tempérées dans les hautes terres d'Éthiopie. L'ILRI-ICARDA a mis en œuvre et déployé des technologies culturelles validées pour favoriser la diversification temporelle des cultures et des variétés dans cette région et ainsi réduire la monoculture du blé. Les agriculteurs ont préféré des cultivars de blé dur à haut rendement et résistants aux maladies, tandis que l'orge et les légumineuses alimentaires étaient

déployés via les systèmes semenciers informels. Cette approche a permis d'augmenter la productivité, de minimiser les épidémies de rouille des céréales et d'améliorer les systèmes de production durables à base de blé. La deuxième intervention s'est intéressée à la gestion de plantes parasites (*Orobanche* spp.) des légumineuses alimentaires, via la diversification des cultures. L'intervention a consisté à sélectionner et à promouvoir des cultures alternatives non-hôtes (fenugrec, graines de lin et haricot commun) dans les parcelles des agriculteurs des hauts plateaux du nord-est éthiopien. En conclusion, la diversification spatio-temporelle des cultures devrait être mieux étudiée et davantage promue comme approche de production végétale contribuant à minimiser l'impact des ravageurs nouveaux et émergents sur les moyens de subsistance des communautés agricoles ainsi que l'érosion des ressources génétiques des céréales et des légumineuses alimentaires des régions montagneuses de la région MENA et d'Afrique de l'Est.



▲ Sélection d'espèces non-hôtes pour la diversification des cultures afin de gérer les mauvaises herbes dans le nord-est de l'Éthiopie. © ICARDA



## Protection agroécologique des cultures fruitières et maraîchères à La Réunion



À La Réunion, les cultures horticoles sont, avec la canne à sucre, les principales productions agricoles. L'utilisation de pesticides pour lutter contre les bioagresseurs (ravageurs, agents pathogènes et plantes adventices), diffusée à grande échelle depuis les années 1980, a montré ses limites : faible efficacité et rentabilité, impacts négatifs sur l'environnement et la santé, déséquilibres écologiques. Depuis la fin des années 2000, des expériences basées sur les principes de la protection agroécologique des cultures (PAEC) sont développées sur des cultures maraîchères (Cucurbitacées : chou, courgette, citrouille ; Solanacées : tomates) et fruitières (mangue) pour proposer une alternative durable de production horticole. La PAEC est la déclinaison de l'agroécologie à la protection des cultures et repose sur deux axes principaux : favoriser la biodiversité végétale et animale dans les agroécosystèmes ; favoriser la santé des sols des parcelles cultivées. suiv.

◀ Plantes pièges de maïs disposées autour d'une parcelle de courgettes. © J.-P. Deguine/Cirad

Ces expériences ont réuni de nombreux partenaires de la profession agricole et placé les producteurs au centre du dispositif. Elles se sont déroulées en plusieurs étapes avant, pendant et après des projets de R&D en partenariat (Cucurbitacées, Solanacées, manguiers). Les performances des systèmes de cultures horticoles agrochimiques ont été comparées à celles de systèmes de cultures agroécologiques sur le terrain (tableau). **Les résultats sont très encourageants<sup>(1,2,3)</sup> : réduction drastique, voire suppression, des pesticides (notamment herbicides et insecticides), restauration de la biodiversité (exemple des arthropodes) et du fonctionnement écologique des**

**agroécosystèmes (productions fruitières et maraîchères), réduction des coûts de production sans pertes de production, réduction du temps de travail et motivation accrue des agriculteurs.** Ces expériences ont donné le jour à de nouveaux projets en systèmes de culture diversifiés et des déterminants génériques à l'adoption de futurs systèmes de culture agroécologiques ont été proposés. Ainsi, par exemple, les deux-tiers des surfaces cultivées en chouchous (*christophine*, *Sechium edule*) le sont dorénavant en agriculture biologique grâce à des pratiques agroécologiques.

Pratique agroécologique recommandée	Cultures maraîchères (Cucurbitacées)		Cultures fruitières (manguiers)
	Choucho	Courgette	Mangue
Arrêt des traitements insecticides conventionnels	oui	oui	oui
Arrêt des traitements herbicides	oui	oui	oui
Augmentorium	oui	oui	oui
Couverture végétale permanente	oui	non	oui
Plantes pièges	non	oui	oui
Bandes fleuries	non	non	oui
Plantes refuges	non	non	oui
Réduction de la fertilisation minérale	oui	non	non
Amendements organiques	oui	oui	oui
Piégeage	oui	oui	oui
Utilisation d'appâts adulticides	non	oui	oui
Mesures curatives*	non	non	non

▲ **Stratégie phytosanitaire ordonnée de protection agroécologique des cultures, adoptée dans les expériences sur Cucurbitacées et manguiers à La Réunion.** (Deguine et al., 2019b).

Le choucho (cultivé sur treille, gestion comparable à celle d'une culture pérenne) et la courgette (légume de plein champ à cycle court, comme d'autres cultures telles la citrouille ou le concombre) sont considérés séparément. La mention « oui » signifie que la pratique est recommandée et « non » qu'elle ne l'est pas.

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

\* <http://gamour.cirad.fr/site>

\*\* <https://ecophytop.fr/recherche-innovation/concevoir-son-systeme/rescam-reseau-dexperimentations-de-systemes-cultures>

\*\*\* [www.agriculture-biodiversite-oi.org/Biophyto](http://www.agriculture-biodiversite-oi.org/Biophyto)

\*\*\*\* <https://ecophytop.fr/dephy/conception-de-systeme-de-culture/projet-st0p>

#### Contact

Jean-Philippe Deguine (PVBMT, Cirad, France),  
jean-philippe.deguine@cirad.fr

#### Autres auteurs

Luc Vanhuffel (Association réunionnaise pour la modernisation de l'économie fruitière, légumière et horticole, ARMEFLHOR, La Réunion)

Marlène Marquier (Fédération départementale des groupements de défense contre les organismes nuisibles, FDGDON, France)

Rachel Graindorge (Chambre d'agriculture de La Réunion, France)

Jean-Noël Aubertot (Agriculture, INRAE, France)

#### Plus d'informations

(1) Deguine J.-P., Jacquot M., Allibert A., Chiroleu F., Graindorge R., Laurent P., Albon B., Marquier M., Gloanec C., Lambert G., Vanhuffel L., Vincenot D., Aubertot J.-N., 2018. Agroecological protection of mango orchards in Réunion. *Sustainable Agriculture Reviews*, 28: 249-308. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-90309-5\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-319-90309-5_8)

(2) Deguine J.-P., Atiama-Nurbel T., Vanhuffel L., Cresson C., 2019a. Recent advances in organic cultivation of chayote (*Sechium edule*) in Reunion Island. *Organic agriculture*, 10: 135-143. <https://doi.org/10.1007/s13165-019-00255-5>

(3) Deguine J.-P., Aubertot J.-N., de Cambiaire J.-C., Cresson C., Fares M., Lambert G., Marquier M., Nurbel T., Laurent P., Vanhuffel L., Vincenot D., 2019b. Development of agroecological horticultural systems in Réunion. In Côte F.-X., et al. (eds) *The agroecological transition of agricultural systems in the Global South*. Agriculture et défis du monde collection, AFD, Cirad, Éditions Quæ, Versailles: 127-140.

• Site Ipsim-chayote : un outil pour aider les professionnels à prédire, discuter et gérer les dégâts des mouches du choucho à La Réunion : <https://pvbmt-apps.cirad.fr/apps/ipsim-chayote/?lang=en>

## Promotion d'une nouvelle espèce de *Cotesia* comme premier agent de lutte biologique contre la sésamie du maïs en France

Les insectes parasitoïdes jouent un rôle important dans la limitation des populations d'insectes phytophages. Parce qu'ils ont souvent une gamme d'hôtes étroite, de nombreuses espèces de parasitoïdes sont utilisées pour lutter contre les insectes nuisibles. Un programme de recherche sur la diversité des foreurs Lépidoptères et de leurs parasitoïdes en Afrique subsaharienne a conduit à la caractérisation d'une nouvelle espèce

de parasitoïde, *Cotesia typhae* (Hymenoptera, Braconidae), spécialisée sur une seule espèce hôte<sup>(3)</sup>. Cette dernière, *Sesamia nonagrioides*, cause principalement des dégâts sur le maïs dans le sud de l'Europe où les taux de dégâts augmentent souvent en raison des hivers doux, du manque d'insecticides autorisés et de l'absence d'agent de lutte biologique. Une souche kenyane de *C. typhae* a un niveau parasitaire élevé sur les populations hôtes

européennes de *S. nonagrioides*<sup>(1)</sup>. Un programme de recherche franco-kényan\* étudie actuellement le potentiel de ce parasitoïde pour contrôler le ravageur via des lâchers annuels, en abordant les aspects suivants : (i) les mécanismes de réussite et de la spécificité du parasitisme ; (ii) le risque d'établissement dans l'environnement français ; (iii) les conditions de succès en serre ; et (iv) les techniques d'élevage de masse.

suiv. 



▲ De gauche à droite

Une femelle de *Cotesia typhae* examine avec ses antennes une déjection larvaire de *Sesamia nonagrioides* à l'entrée du tunnel. © C.J. Parisot/EGCE

Une femelle de *C. typhae* pond des dizaines d'œufs dans une larve de *S. nonagrioides*. © R. Benoist, EGCE

Des cocons nymphaux de *C. typhae* formés autour du corps de l'hôte après la fin du développement endoparasitaire des larves. © L. Kaiser/EGCE

La décision d'autoriser l'utilisation de macro-organismes exotiques pour protéger les cultures en France dépend du bilan coûts-avantages pour l'environnement. Nous nous attendons à ce que le coût soit faible compte tenu (i) de la présence rare dans les habitats non cultivés de *Cotesia flavipes*, une espèce sœur qui a été introduite en Afrique de l'Est il y a 25 ans pour lutter contre un ravageur envahissant du maïs<sup>(4)</sup> ; et (ii) des résultats actuels avec *C. typhae* soulignant une faible probabilité d'établissement à long terme. Les connaissances sur l'habitat naturel de *C. typhae*<sup>(2)</sup> ont permis de répertorier une douzaine d'espèces non ciblées de foreurs de tige en France. Peu de cas de parasitisme réussi ont été enregistrés en conditions de laboratoire. Ce risque serait atténué par le fait que la létalité du développement de *C. typhae* commençant à 10°C, il est peu probable que ces parasitoïdes survivent à l'hiver. En ce qui concerne les avantages, les données préliminaires obtenues en serre sur les taux de parasitisme et la durée d'efficacité d'un seul lâcher sont encourageantes. La production de masse sera réalisée au Kenya. Un modèle mathématique sera développé pour simuler les données dans les conditions de terrain\*\*.

transposition aux conditions de terrain bénéficiera également de l'expérience de la commercialisation de *C. flavipes* pour lutter contre les foreurs de la canne à sucre au Brésil. **En cas de succès, la lutte biologique avec *C. typhae* illustrera la contribution essentielle des études écologiques**

**et biologiques à long terme à la mise en place de méthodes efficaces et durables de lutte contre les ravageurs.**

\* Projet CoteBio (ANR-AFB) : <https://bit.ly/3septaj>

\*\* Projet Phenofore (Semae) : [www.arvalisinstitutduvegetal.fr/phenophore-@view-3153-arvstatistiques.htm](http://www.arvalisinstitutduvegetal.fr/phenophore-@view-3153-arvstatistiques.htm)

#### Contacts

Laure Kaiser (EGCE, CNRS, France), [laure.kaiser-arnauld@egce.cnrs-gif.fr](mailto:laure.kaiser-arnauld@egce.cnrs-gif.fr)

Paul-André Calatayud (EGCE, IRD, France), [paul-andre.calatayud@ird.fr](mailto:paul-andre.calatayud@ird.fr)

#### Autres auteurs (consortium CoteBio)

P.-A. Calatayud, T. Fortuna, F. Mougél, F. Rebaudo, M. Anne (EGCE, UPSaclay-CNRS-IRD, France)

J. Obonyo (ICIPE, Kenya)

J.-M. Drezen, C. Bressac (IRBI, U.F. Rabelais-CNRS, France)

J.-B. Thibord (Arvalis, France)

J. Frandon (Bioline Agrosciences, France)

#### Plus d'informations

(1) Benoist R., Paquet S., Decourcelle F., Guez J., Jeannette R., Calatayud P.-A., Le Ru B., Mougél F., Kaiser L., 2020. Role of egg-laying behavior, virulence and local adaptation in a parasitoid's chances of reproducing in a new host. *J. Insect Physiol.*, 120: 103987. doi: 10.1016/j.jinsphys.2019.103987

(2) Kaiser L., Le Ru B.P., Kaoula F., Paillusson C., Capdevielle-Dulac C., Obonyo J.O., Herniou E., Jancek S., Branca A., Calatayud P.-A., Silvain J.-F., Dupas S., 2015. Ongoing ecological speciation in *Cotesia sesamiae*, a biological control agent of cereal stem borers. *Evolutionary Applications*, 8(8): 807-20. doi: 10.1111/eva.12260

(3) Kaiser L., Fernandez-Triana J., Capdevielle-Dulac C., Chantre C., Bodet M., Kaoula F., Benoist R., Calatayud P.-A., Dupas S., Herniou E.A., Jeannette R., Obonyo J., Silvain J.F., Le Ru B., 2017. Systematics and biology of *Cotesia typhae* sp. n. (Hymenoptera, Braconidae, Microgasterinae), a potential biological control agent against the noctuid Mediterranean corn borer, *Sesamia nonagrioides*. *Zookeys*, 682: 105-136. doi: 10.3897/zookeys.13016

(4) Mailafiya D.M., Le Ru B.P., Kairu E.W., Calatayud P.-A., Dupas S., 2010. Geographic distribution, host range and perennation of *Cotesia sesamiae* and *Cotesia flavipes* Cameron in cultivated and natural habitats in Kenya. *Biological Control*, 54: 1-8. doi: 10.1016/j.biocontrol.2009.11.008

## Vers une gestion agroécologique des bioagresseurs telluriques en maraîchage provençal sous abris

**E**n France, malgré les politiques publiques incitant à la réduction de l'usage des pesticides, les pratiques agroécologiques de gestion des bioagresseurs telluriques sont peu appliquées dans les exploitations maraîchères. L'étude a porté sur les systèmes maraîchers conventionnels et biologiques provençaux orientés vers les circuits longs. À l'aide d'entretiens semi-directifs, de littérature grise, d'observations participantes et d'ateliers multi-acteurs, ainsi que d'un cadre d'analyse original des déterminants des pratiques, nous avons montré qu'un **ensemble interconnecté de freins au changement de pratiques empêche la transition de ces systèmes maraîchers vers des pratiques agroécologiques**. Ces freins concernent de multiples échelles (parcelle, exploitation agricole, territoire, etc.) et impliquent une diversité d'acteurs (agriculteurs, acteurs des filières, de la R&D, institutionnels, etc.). Ils favorisent le verrouillage autour d'une désinfection drastique des sols ; néanmoins, ce verrouillage est bousculé par les pressions sociétales et la structuration croissante de certaines parties prenantes autour de l'agroécologie. Par ailleurs, des leviers facilitant la transition vers une gestion agroécologique des bioagresseurs telluriques ont été identifiés comme,

par exemple, un accès facilité à des intrants-clés pour la gestion agroécologique des sols (amendements organiques, variétés résistantes) ou encore le développement de réseaux d'échanges de connaissances entre maraîchers.

Les sorties de cette analyse sociotechnique ont été partagées avec et enrichies par les parties prenantes en mobilisant un jeu sérieux que nous avons conçu. Le jeu SoilH&co s'appuie sur une représentation simplifiée de la production de légumes et des différents acteurs qui l'impactent, ainsi que des effets des choix techniques sur les niveaux d'infestation en bioagresseurs telluriques. **L'utilisation du jeu, en inversant les rôles entre acteurs maraîchers et non maraîchers, leur a permis de comprendre le verrouillage actuel et de repérer des leviers de déverrouillage, qui ont été explorés ultérieurement.** Ce travail a fait l'objet de la thèse de Yann Boulestreau (2017-2021, financement Ademe et INRAE-ACT).

#### Contacts

Mireille Navarrete (Écodéveloppement, INRAE, France), [mireille.navarrete@inrae.fr](mailto:mireille.navarrete@inrae.fr)

Yann Boulestreau (Écodéveloppement, INRAE, France), [yann.boulestreau@tutanota.com](mailto:yann.boulestreau@tutanota.com)

Marion Casagrande (Écodéveloppement, INRAE, France), [marion.casagrande@inrae.fr](mailto:marion.casagrande@inrae.fr)

#### Plus d'informations

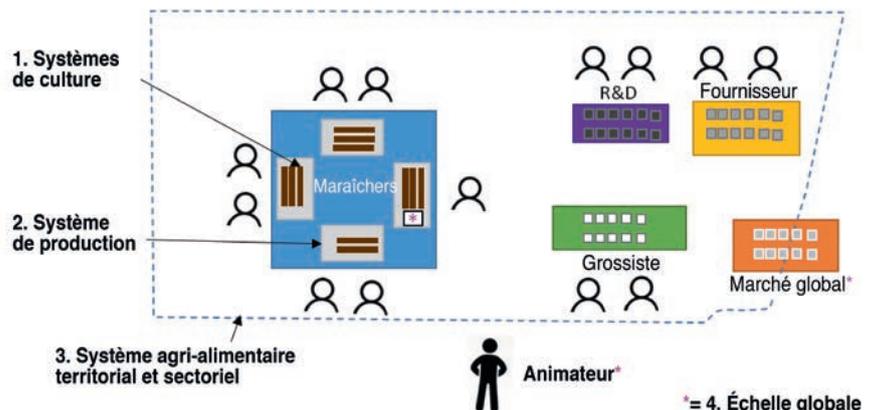
• Boulestreau Y., Casagrande M., Navarrete M., 2021. Analyzing barriers and levers for practice change : a new framework applied to vegetables' soil pest management. *Agron. Sustain. Dev.*, 41, 44: 18.

• Boulestreau Y., 2021. *Une démarche de co-conception d'innovations du système de culture au système agri-alimentaire pour une gestion agroécologique des bioagresseurs telluriques en maraîchage provençal*. Thèse, université d'Avignon, France, 336 p.

• Boulestreau Y., Casagrande M., Navarrete M., 2019. *Codesigning crop diversification strategies from plot to sociotechnical system to manage root-knot nematodes in Mediterranean market gardening systems*. I. European Conference on Crop Diversification 2019, Sep 2019, Budapest, Hungary. 369 p. <https://hal.inrae.fr/hal-02735611> <https://zenodo.org/record/3784275#.YP6gIOA6-w4>



▲ Atelier avec le jeu SoilH&co en 2019. © C. Meunier



▲ **Organisation spatiale du jeu SoilH&co dans la salle et représentations des différentes échelles qui influencent les pratiques agricoles.**

Les rectangles colorés représentent les tables et le type d'acteurs associé à chaque table est précisé.

© Y. Boulestreau



# La fertilisation azotée réduit les bénéfices des vers de terre et de la silice sur la tolérance du riz à la pyriculariose

Comprendre les relations entre le sol et la végétation est essentiel pour piloter les processus écologiques et mieux gérer les maladies des plantes. Les vers de terre sont impliqués dans ces relations entre sol et plantes et la silice est un élément crucial de la régulation des maladies des plantes. Comprendre comment les interactions 'vers de terre-silice' affectent la régulation des maladies aériennes des plantes est un enjeu de recherche majeur. Nous avons évalué le potentiel des vers de terre et/ou de la silice à contrôler la sévérité de la pyriculariose du riz, à Madagascar, en présence ou absence de fertilisation minérale NPK. Pour cela, nous avons utilisé des vers de terre endogés (*Pontoscolex corethrurus*) ; le sol était alimenté ou non en silice et fertilisé ou non en nutriments NPK. Après quelques semaines de croissance, les plants de riz ont été inoculés

à quantité égale avec des spores du champignon *Pyricularia oryzae* afin de déclencher la maladie. Après huit semaines de croissance, la biomasse végétale, la nutrition des plants de riz et la sévérité de la maladie ont été mesurées.

Il s'avère qu'un double traitement d'inoculation de vers de terre et d'apport en silice confère une tolérance plus élevée du riz pluvial à *P. oryzae*, comparé à des traitements uniques (vers de terre ou silice) et offre le meilleur rapport entre gain de biomasse (et de nutrition) végétale et réduction de la sévérité de la maladie. En revanche, l'apport en nutriments NPK induit une forme sévère de la maladie (phénomène de 'susceptibilité induite par l'azote'). Un rapport carbone/azote des parties aériennes de la plante égal à 15 apparaît comme un seuil en dessous

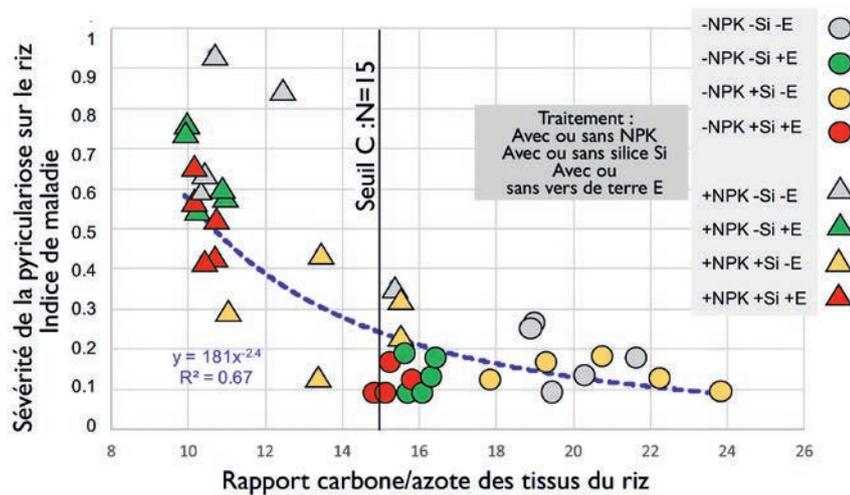
duquel toute augmentation d'azote par unité de carbone accroît la sévérité de la pyriculariose. **Les organismes et le fonctionnement du sol tiennent ainsi un rôle important pour améliorer la résistance des plantes à des maladies aériennes.** Pour contribuer à l'intensification écologique et renforcer la fourniture de services écosystémiques tels que la régulation des maladies, nos résultats recommandent de limiter l'utilisation excessive d'engrais minéraux au profit de pratiques agricoles durables favorisant le développement des populations de vers de terre.

**Contact**

Éric Blanchart (IRD, Eco&Sols, France), eric.blanchart@ird.fr

**Plus d'informations**

Blanchart E., Ratsiatosika O., Raveloson H., Razafimbelo T., Razafindrakoto M., Sester M., Becquer T., Bernard L., Trap J., 2020. Nitrogen supply reduces the earthworm-silicon control on rice blast disease in a Ferralsol. *Applied Soil Ecology*, 145: 103341.



▲ Relation entre le rapport carbone/azote des tissus de la plante et la sévérité de la maladie. Une fertilisation en engrais NPK (triangles) fait passer ce rapport C/N en dessous du seuil de 15, ce qui se traduit par une sévérité élevée de la maladie. La présence de silice (triangles jaunes) tend à diminuer la sévérité de la maladie en condition fertilisée. En l'absence de NPK (ronds), les vers de terre (ronds rouges et verts) améliorent la croissance de la plante et sa nutrition azotée, sans augmenter la gravité de la maladie. Les vers de terre et la silice assurent l'équilibre optimal entre le gain de biomasse et la gravité de la maladie.

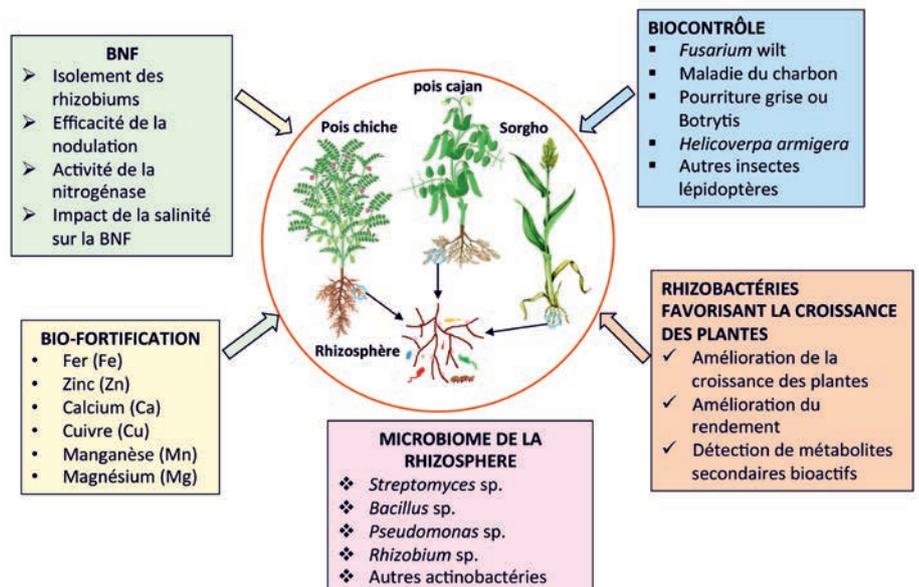


▲ *Pontoscolex corethrurus*, ver de terre endogé vivant dans les sols tropicaux et assurant de nombreuses fonctions utiles à la croissance des plantes © E. Blanchart/IRD



# Microbiomes de la rhizosphère - Une nouvelle voie pour améliorer la santé et la productivité des cultures, la biofortification et la fertilité des sols

Les plantes abritent une gamme variée de micro-organismes dans et autour des racines, appelés les microbiomes de la rhizosphère. Ils contribuent à la santé et aux fonctions générales des plantes. Ces microbes favorisent la croissance des plantes (microbes PGP pour *plant growth-promoting*) et vivent dans la rhizosphère pour satisfaire leurs besoins nutritionnels. En retour, ces microbes procurent de multiples avantages aux plantes, notamment une meilleure croissance, une meilleure défense contre les maladies, la survie en cas de stress, ainsi que de nombreux autres bénéfices inconnus. Par réaction, ils (i) stimulent la croissance des plantes par l'enrichissement du sol en nutriments par la fixation d'azote, etc., et (ii) augmentent la protection végétale en influençant la production de cellulase, de protéase, de lipase et de β-1,3 glucanase, tout en améliorant la défense des plantes contre les ravageurs et les pathogènes par divers mécanismes.



▲ Microbiomes de la rhizosphère : une pratique agroécologique pour une agriculture durable.

En outre, les microbes PGP possèdent des caractéristiques utiles pour tolérer les stress abiotiques tels que les températures extrêmes, le pH, la salinité et la sécheresse, la pollution par les métaux lourds et les pesticides. L'apport de microbes PGP au champ devrait améliorer la croissance et le rendement des cultures, même lorsque les plantes sont soumises à différents stress. Il est donc essentiel de mieux connaître les stratégies potentielles de sélection, de caractérisation et de formulation de microbes PGP bénéfiques, tout en comprenant mieux les mécanismes moléculaires qui sous-tendent leur action et leur évaluation sur le terrain. L'identification de ces microbiomes de la rhizosphère et des autres microbes PGP potentiels ainsi que le développement d'une technologie robuste pourraient être utiles aux programmes de gestion intégrée contre les ravageurs et de gestion intégrée de la nutrition, et réduirait également le besoin d'intrants tels que les engrais synthétiques et les pesticides. Les recherches de l'ICRISAT se concentrent sur les effets des bactéries PGP sur la

fixation de l'azote, la solubilisation du phosphore, la promotion de la croissance et la lutte contre divers stress biotiques (notamment les insectes nuisibles et les maladies) sur nos cultures principales, comme le pois chiche, le pois cajan, l'arachide et le sorgho, qui sont des aliments de base dans les régions tropicales semi-arides. L'ICRISAT a démontré **l'utilité de 16 souches PGP de *Streptomyces* pour améliorer la croissance et les rendements dans les conditions de culture du riz, du sorgho, du pois chiche et du pois cajan. En outre, trois métabolites secondaires ont été purifiés à partir de ces souches, dont deux contre les foreurs des gousses et un contre le charbon du sorgho. Les séquences du génome entier de ces souches ont également été publiées.**

#### Contact

Subramaniam Gopalakrishnan (ICRISAT, CGIAR, Inde),  
s.gopalakrishnan@cgiar.org

#### Autres auteurs

Vadlamudi Srinivas, Sambangi Pratyusha et Sravani Ankati (ICRISAT, CGIAR, Inde)

#### Plus d'informations

- [https://scholar.google.co.in/citations?hl=en&user=tNLkpAAAAAJ&view\\_op=list\\_works](https://scholar.google.co.in/citations?hl=en&user=tNLkpAAAAAJ&view_op=list_works)
- Gopalakrishnan S., Srinivas V., Vemula A., Samineni, Rathore A., 2018. Influence of diazotrophic bacteria on nodulation, nitrogen fixation, growth promotion and yield traits in five cultivars of chickpea. *Biocatal. Agric. Biotechnol.*, 15: 35-42.
- Gopalakrishnan S., Srinivas V., Naresh N., Pratyusha S., Ankati S., Madhuprakash J., Sharma R., 2021. Deciphering the antagonistic effect of *Streptomyces* spp. and host-plant resistance induction against charcoal rot of sorghum. *Planta*, 253: 57.
- Gopalakrishnan S., Thakur V., Saxena R.K., Vadlamudi S., Purohit S., Kumar V., Rathore A., Chitikineni A., Varshney R.K., 2020. Complete genome sequence of sixteen plant growth-promoting *Streptomyces* strains. *Scientific Reports*, 10: 10294.

## Les extraits de plantes, une option de substitution des insecticides en Afrique subsaharienne

Dans les pays d'Afrique subsaharienne, comme dans la majorité des pays du monde, l'ethnopharmacologie rapporte l'utilisation des plantes en pharmacopée traditionnelle. Certaines plantes sont également utilisées sous forme d'extraits aqueux ou d'huiles essentielles pour la protection des cultures contre leurs ravageurs et leurs maladies, au champ ou dans les greniers de stockage des grains. Cet usage est une solution de substitution partielle des insecticides de synthèse, voire totale en agriculture biologique. Les formulations prêtes à l'emploi sont rares et surtout basées sur les pyrèthres naturels issus de *Tanacetum cinerariifolium* (Asteraceae) ou d'extraits de neem (*Azadirachta indica*, Meliaceae). Le défi est d'identifier de nouvelles espèces de plantes via l'exploration de la diversité végétale et des connaissances traditionnelles et académiques, puis de mettre ces connaissances à disposition des utilisateurs finaux, i.e. producteurs, ONG, consultants et chercheurs.

Les utilisations des extraits de plantes, dans les conditions expérimentales ou de pratiques courantes, ont été inventoriées dans la base de connaissances « Knomana »\*. Celle-ci a été construite à partir des publications recensées par les membres d'un réseau informel rassemblant les chercheurs de treize pays africains francophones\*\*. À la suite de l'extension de la recherche à d'autres zones géographiques, ainsi qu'aux domaines des santé animale et humaine, **la base Knomana comprend désormais 44 300 descriptions d'utilisation (janvier 2021). Celles-ci rassemblent de nombreuses informations telles que les noms latins des plantes et les principes actifs des extraits utilisés, le nom latin des organismes ciblés et les cultures protégées. Au total, 2 543 espèces végétales sont répertoriées comme ayant été expérimentées contre 720 espèces d'organismes nuisibles ciblés.** Une attention est actuellement portée sur les risques de toxicité de l'utilisation des plantes pour l'être humain et d'autres organismes non-ciblés. L'évaluation de ces risques, pouvant induire l'apport de compléments cognitifs à la base Knomana, constitue un objectif crucial à atteindre dans le contexte de l'approche *EcoHealth*.

\* Knowledge management on pesticide plants in Africa : <https://ur-aida.cirad.fr/nos-recherches/projets-et-expertises/knomana>

\*\* Bénin, Burkina Faso, Cameroun, Côte d'Ivoire, Gabon, Madagascar, Mali, Mauritanie, Niger, République centrafricaine, République démocratique du Congo, Sénégal, Togo.

#### Contacts

Pierre Silvie (Phim, IRD, France), pierre.silvie@cirad.fr

Pierre Martin (Aida, Cirad, France), pierre.martin@cirad.fr

#### Plus d'informations

- Silvie P., Martin P., Huchard M., Keip P., Gutierrez A., Sarter S., 2021. Prototyping a knowledge-based system to identify botanical extracts for plant health in sub-Saharan Africa. *Plants*, 10(5): 896. <https://doi.org/10.3390/plants10050896>
- Silvie P. et al., 2021. Le management des connaissances liées aux usages des plantes : une initiative combinant savoirs traditionnels et publications scientifiques pour l'approche One-Health. In Profizi et al. (éd.) : *Biodiversité des écosystèmes intertropicaux. Connaissance, gestion durable et valorisation*, Marseille, IRD Éditions, coll. Synthèse.
- Silvie P., Martin P., 2017. Les plantes pesticides au secours des cultures. *The Conversation*. <http://theconversation.com/les-plantes-pesticides-au-secours-des-cultures-86898>

▼ Préparation d'un extrait aqueux de plantes au Sénégal. © M. Dione

► Extraits de plantes utilisés au Paraguay en culture cotonnière. © P. Silvie



## Pratiques agroécologiques et stocks de carbone des sols

Exemple du bassin arachidier du Sénégal

Lancée lors de la conférence des parties sur le changement climatique organisée à Paris en 2015, l'initiative « 4 pour 1000 : les sols pour la sécurité alimentaire et le climat » incite les acteurs du monde entier à s'engager dans une agriculture reposant sur des pratiques à même de stocker le carbone dans les sols<sup>(1)</sup>, et compatibles avec les éléments de l'agroécologie. En Afrique occidentale subaride, les pratiques agroécologiques ciblent avant tout l'augmentation de la productivité des systèmes ; elles reposent en grande partie sur une bonne gestion des intrants organiques provenant de divers systèmes intégrés combinant agriculture et élevage. Toutefois, les sols de la région, essentiellement à texture grossière, ont une capacité limitée en termes de stockage de carbone organique. Soutenus par les projets SoCa<sup>(2)</sup> et DSCATT<sup>(3)</sup>, les travaux du collectif de recherche Iesol\* ont estimé les stocks de carbone de 1 813 parcelles agricoles localisées dans le bassin arachidier du Sénégal. Les stocks ne dépassent pas 30 Mg C ha<sup>-1</sup> (moyenne de

14,6 Mg C ha<sup>-1</sup>) dans la couche de sol 0-30 cm. La nature des intrants organiques – notamment avec le développement de l'embouche bovine – et leur gestion dans le paysage – avec un apport privilégié dans les champs les plus proches des habitations (i.e. champ de case) – permettent une augmentation des stocks de C<sup>(3)</sup>. Toutefois la minéralisation est extrêmement rapide et affecte des formes de carbone organique du sol considérées comme stables (approche Rock-Eval®), voire réfractaires dans d'autres environnements pédoclimatiques<sup>4</sup>. **Ainsi, les pratiques locales d'amendements organiques peuvent contribuer à court terme à la restauration de la fertilité des sols mais ne servent pas l'objectif de stockage à long terme requis pour la lutte contre les changements climatiques.** Les innovations pour une transition agroécologique doivent cibler les options permettant de gérer tous les champs de manière optimale mais requièrent des pistes d'amélioration de la disponibilité des ressources organiques.

\* Laboratoire mixte international sur l'intensification écologique des sols cultivés en Afrique de l'Ouest : <https://sites.google.com/site/iesolafrica/home>

### Contacts

Lydie Lardy (Eco&Sols, Iesol, IRD, France), [lydie.lardy@ird.fr](mailto:lydie.lardy@ird.fr)

Oscar Pascal Malou (Eco&Sols, IRD, France/Université Cheikh Anta Diop, UCAD, Sénégal), [opmalou@gmail.com](mailto:opmalou@gmail.com)

Abou Thiam (Institut des Sciences de l'Environnement, UCAD, Sénégal), [abou.thiam@ucad.edu.sn](mailto:abou.thiam@ucad.edu.sn)

### Plus d'informations

(1) Chevallier *et al.*, 2020. Carbone des sols en Afrique. Impacts des usages des sols et pratiques agricoles. FAO/IRD Rome/Marseille, 268 p. [www.fao.org/3/cb0403fr/CB0403FR.pdf](http://www.fao.org/3/cb0403fr/CB0403FR.pdf)

(2) Projet SoCa, le carbone des sols au service de l'agriculture familiale tropicale (financement Initiative Climat, Fondation BNP Paribas) : <https://group.bnpparibas/actualite/soca-carbone-sols-service-agriculture-familiale-tropicale>

Projet DSCATT, Dynamique de la séquestration du carbone dans les sols des systèmes agricoles tropicaux et tempérés (financement Fondation Agropolis et Fondation Total) : <https://dscatt.net/>

(3) Malou O.P., Moulin P., Chevallier T., Masse D., Vayssières J., Badiane Ndour N.Y., Tall L., Delaunay V., Thiam A., Chapuis-Lardy L., soumis. Estimates of C stocks in sandy soils cultivated under local management practices in the Senegal's Groundnut basin. *Regional Environmental Change*, 21: 65. <https://doi.org/10.1007/s10113-021-01790-2>

(4) Malou O.P., Sebag D., Moulin P., Chevallier T., Badiane Ndour N.Y., Thiam A., Chapuis-Lardy L., 2020. The Rock-Eval® signature of soil organic carbon in arenosols of the Senegalese groundnut basin. How do agricultural practices matter? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 301: 107030. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107030>

◀ **Mélange de résidus de récolte, de tiges de mil, d'aliments que les animaux n'ont pas consommés, et de fumier.**

Utilisé comme compost, sur des plantes maraîchères ou comme ici dans un champ de pastèques, Sénégal. © T. Chevallier/IRD



## Augmenter le carbone organique dans les sols : nécessité d'une approche systémique et multidisciplinaire

Augmenter les matières organiques contenues dans le sol est un enjeu majeur pour une intensification durable de la production agricole. De nombreux facteurs interagissent pour définir l'état d'un sol et son contenu en matière organique. Ces facteurs sont d'ordre biophysique, social et économique. Ils se déclinent à différents niveaux d'échelle, de l'agrégat du sol au territoire, en passant par la ferme et le champ cultivé. Analyser la dynamique des systèmes de production au cours du temps long au Sénégal, dans le pays Sereer, a permis d'établir les fondements écologiques et sociaux qui confèrent à ces systèmes leur viabilité et leur durabilité. Les travaux du projet pluridisciplinaire Cerao\* (2014-2018) ont mis en exergue l'importance de l'intégration agriculture-élevage et de son évolution vers des élevages plus sédentaires.

[suiv.](#)



► **Embouche bovine au sein d'une concession dans la région de Niakhar, Sénégal.** © B. Defives

De même, **l'organisation spatiale en auréole des terroirs villageois et la présence de l'arbre sous forme de parc arboré se sont maintenues malgré les fortes contraintes subies par ces systèmes de production au cours du siècle dernier** (diminution de la pluviosité, croissance démographique, évolution sociale et économique). Enfin **les sociétés humaines se sont adaptées au cours du temps pour maintenir l'activité agricole** (migrations, travail et revenus hors agriculture, liens familiaux et sociaux, etc.). Ces analyses systémiques et multidisciplinaires sont essentielles pour identifier des solutions en vue d'augmenter le carbone dans les sols cultivés. Ces connaissances partagées avec les savoirs locaux permettront de s'orienter vers des pratiques agricoles ou des arrangements sociaux efficaces, durables et diffusables. C'est dans ce cadre qu'est

mis en œuvre le projet étandard DSCATT\*\* de la Fondation Agropolis visant à développer et tester des méthodes et des outils pour co-construire entre acteurs des stratégies de séquestration du carbone dans les sols.

#### Contact

Dominique Masse (Eco&Sols, IRD, Côte d'Ivoire), dominique.masse@ird.fr

#### Plus d'informations

- Masse D., Lalou R., Tine C., Ba M., Vayssières J. 2018. Les trajectoires agricoles dans le Bassin Arachidier au Sénégal : éléments de réflexion à partir de l'observatoire de Niakhar. In Delaunay V., et al. (éd.) : *Niakhar, mémoires et perspectives. Recherches pluridisciplinaires sur le changement en Afrique*, Éditions de l'IRD et L'Harmattan Sénégal, Marseille et Dakar: 311-332.
- Grillot M., Vayssières J., Masse D., 2018. Agent-based modelling as a time machine to assess nutrient cycling

\* Projet Cerao (2014-2018), Auto-adaptation des agro-socio-écosystèmes tropicaux face aux changements globaux ? ANR Agrobiosphère : [www.umr-ecosols.fr/recherche/projets/17-projets/44-cerao](http://www.umr-ecosols.fr/recherche/projets/17-projets/44-cerao)

\*\* Projet DSCATT (2019-2023), Dynamique de la séquestration du carbone dans les sols des systèmes agricoles tropicaux et tempérés : [www.dscatt.net](http://www.dscatt.net)

reorganization during past agrarian transitions in West Africa. *Agricultural Systems*, 164: 133-151.

- Tounkara A., Clermont-Dauphin C., Affholder F., Ndiaye S., Masse D., Cournac L., 2020. Inorganic fertilizer use efficiency of millet crop increased with organic fertilizer application in rainfed agriculture on smallholdings in central Senegal. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 294. DOI: 10.1016/j.agee.2020.106878
- Bisson A., Boudsocq S., Casenave C., Barot S., Manlay R.J., Vayssières J., Masse D., Daufresne T., 2019. West African mixed farming systems as meta-ecosystems: an ecological source-sink modelling approach of the nitrogen cycle and crop production. *Ecological Modelling*, 412:108803. doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2019.108803.

## Pourquoi prendre en compte le *priming effect* en agroécologie ?

La minéralisation de la matière organique (MO) par les communautés microbiennes du sol représente la principale source de nutriments pour les plantes et entraîne un flux global de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère sept fois plus important que les émissions anthropiques. La compréhension des mécanismes impliqués représente donc un enjeu majeur, tant pour la réussite de la transition agroécologique, que pour la mitigation des changements climatiques via la séquestration du carbone (C) dans le sol. Le *priming effect* (PE) figure parmi les mécanismes contribuant à la balance carbonée des écosystèmes. S'agissant d'une stimulation de la minéralisation de la MO du sol suite à un apport en MO fraîche, le PE a longtemps été perçu comme une perte nette de C pour le sol. Toutefois, si le système est à l'équilibre (i.e. minéralisation = stockage du C), il peut représenter un approvisionnement en nutriments efficace pour les plantes. Le PE, difficilement mesurable *in situ*, est de plus le résultat de plusieurs processus, chacun reposant sur des acteurs microbiens propres et ciblant un pool différent de matière organique. L'équilibre entre gain et perte de C dépend de

(i) l'efficacité des microorganismes pour intégrer le carbone dans leur biomasse et (ii) l'âge du pool de MO déstabilisé (récent et dynamique plutôt qu'ancien et stabilisé). Bien que problématique sur le plan du bilan Carbone, un processus ciblant un pool de MO stabilisé peut améliorer la fertilité via la remobilisation de nutriments (N et P). En fonction de leurs besoins, les plantes provoquent d'ailleurs naturellement ce type de processus au niveau de leur rhizosphère. En résumé, **le PE peut représenter un atout en agroécologie par le pilotage des processus, au travers des pratiques agricoles, selon l'enjeu**



**identifié : stockage de C et/ou nutrition des cultures. La gestion de la qualité des intrants organiques apportés fait d'ailleurs partie des pistes les plus prometteuses.**

#### Contacts

Laetitia Bernard (Eco&sols, IRD, France), laetitia.bernard@ird.fr  
Pierre-Alain Maron (Agroécologie, INRAE, France), pierre-alain.maron@inrae.fr

#### Plus d'informations

- Razanamalala K., Fanomezana R.A., Razafimbelo T., Trap J., Blanchart E., Bernard L., 2018. The priming effect generated by stoichiometric decomposition and nutrient mining in cultivated tropical soils: actors and drivers. *Applied Soil Ecology*, 126: 21-33.
- Razanamalala K., Razafimbelo T., Maron P.A., Ranjard L., Chemidlin-Prévost-Boure N., Lelièvre M., Dequiedt S., Ramarosoan V., Marsden C., Becquer T., Trap J., Blanchart E., Bernard L., 2018. Soil microbial diversity drives the priming effect along climate gradients: a case study in Madagascar. *The ISME Journal*, 12: 451-462.

◀ *Plants de riz pluvial sous couverture de résidus de maïs à Andranomanelatra, Madagascar.*

© L. Bernard/Eco&Sols

## Recyclage efficace dans les plantations de palmiers à huile

*Réduire les coûts économiques et environnementaux*



L'huile de palme est actuellement la première huile végétale consommée dans le monde et sa production va continuer d'augmenter. Les pratiques agroécologiques devraient être mises en œuvre de façon croissante dans les plantations. Les plantations de palmiers à huile nécessitent des apports d'engrais qui représentent 46 à 85 % des coûts sur le terrain et qui contribuent substantiellement aux impacts environnementaux tels que l'acidification et le changement climatique<sup>(1)</sup>. Les pratiques agroécologiques permettent de réduire les intrants grâce au recyclage d'abondants coproduits très diversifiés<sup>(2)</sup>. En effet, les plantations de palmiers à huile peuvent générer environ 16 t/ha.an<sup>-1</sup> de coproduits, en plus de la production d'huile de palme et de palmiste (~5 t/ha.an<sup>-1</sup>). Cette biomasse est constituée de frondes, de stipes, de grappes de fruits vides (EFB), d'effluents de moulins à huile de palmiers, de coquilles et de fibres.

◀ *Application sur le terrain du compost de résidus d'huile de palme, Indonésie.* © C. Bessou/Cirad

Lors du stade immature, la couverture temporaire avec des légumineuses a pour avantages de recycler les nutriments provenant de la décomposition des stipes de la récolte précédente, et d'empêcher le développement des mauvaises herbes. Ensuite, **tout au long du cycle cultural, l'apport au champ des EFB comme amendement organique présente des bénéfices substantiels**. L'application de ce coproduit améliore la teneur en éléments nutritifs du sol et renforce aussi les propriétés physico-chimiques et le biote du sol via divers mécanismes, protégeant ainsi le sol et sa capacité de fonctionnement<sup>(2)</sup>. De plus, les EFB peuvent être co-compostés notamment avec les effluents des usines d'huile de palme, augmentant ainsi la valeur nutritive et la stabilité de l'amendement tout en réduisant les coûts de transport ainsi que les impacts environnementaux du traitement des effluents<sup>(3)</sup>. Tirer le meilleur parti du potentiel

de recyclage des coproduits implique de tenir compte des avantages et des risques à la fois au niveau de l'agroécosystème du palmier et de la chaîne d'approvisionnement. L'analyse du cycle de vie (ACV) facilite une telle analyse holistique en considérant les substitutions potentielles et les impacts évités, ainsi que les risques liés aux compromis<sup>(1,4)</sup>. **Les résultats de l'ACV ont mis en évidence que le compost de résidus peut remplacer 10 à 25 % des engrais synthétiques tout en réduisant sensiblement l'impact sur le changement climatique<sup>(3)</sup>**. Cependant, malgré les grandes quantités de coproduits générées, la demande au sein, ou en dehors, de la chaîne de valeurs du palmier peut dépasser l'offre, de sorte que les questions de concurrence et de transfert de fertilité devraient être étudiées pour mettre en évidence les pratiques durables à l'échelle du paysage.

#### Contact

Cécile Bessou (Absys, Cirad, France),  
cecile.bessou@cirad.fr

#### Plus d'informations

(1) Bessou C., Pardon L., 2017. Environmental impacts of palm oil products: what can we learn from LCA? *Indones. J. Life Cycle Assess. Sustain.* 1: 1-7.

(2) Bessou C., Verwilghen A., Beaudoin-Ollivier L., Marichal R., Ollivier J., et al., 2017. Agroecological practices in oil palm plantations: examples from the field. *OCCL*, 24(3). doi: 10.1051/occl/2017024

(3) Baron V., Saoud M., Jupesta J., Praptantyo I.R., Admojo H.T., Bessou C., Caliman J.P., 2019. Critical parameters in the life cycle inventory of palm oil mill residues composting. *JfoLCAS*, 3(1): 19.

(4) Wiloso E.I., Bessou C., Heijungs R., 2015. Methodological issues in comparative life cycle assessment: treatment options for empty fruit bunches in a palm oil system. *Int. J. Life Cycle Assess.*, 20: 204-216.

## Le compostage mécanisé pour convertir les résidus de récolte en engrais organique

Le brûlis des résidus de culture dans les champs constitue actuellement un grave problème, à l'origine d'émissions de gaz à effet de serre et de pollution atmosphérique dans de nombreux pays d'Asie comme l'Inde ou le Vietnam<sup>(1)</sup>. Cette pratique traditionnelle néfaste pourrait être réduite en transformant les résidus de récolte mélangés à du fumier en engrais organique afin d'améliorer la fertilité des sols et le rendement des cultures<sup>(2)</sup>. Le compostage mécanisé de la paille de riz, développé dans le cadre d'un projet mené par l'IRRI<sup>(3)</sup>, est une innovation qui combine processus physiques et biochimiques pour optimiser l'efficacité de la décomposition de la paille de riz et la qualité de l'engrais organique (figure). Cette technologie optimise le processus de compostage et agit efficacement sur des paramètres tels que le rapport C/N, la température, la teneur en humidité,

le pH, la bioactivité, les conditions anaérobies et aérobies. Le compostage de la paille de riz à l'aide de cette technologie prend environ 45 jours, soit environ la moitié du temps requis pour les pratiques traditionnelles telles que le compostage manuel et le mélange au bulldozer.

**Pour une production rizicole durable, en particulier avec « trois saisons de culture par an », nous suggérons deux options pour éviter le brûlis de la paille de riz et les émissions élevées de méthane : (i) la production d'engrais organiques à partir de la paille de riz, avec une collecte mécanisée<sup>(3)</sup> et un compostage<sup>(1)</sup> ; et (ii) le compostage et le recyclage de la paille de riz pour la production de riz biologique.** En effet, 1 ha de riz nécessite environ 6-10 t de compost produit à

partir de la même quantité de paille de riz mélangée à 20-40 % de fumier animal pour atteindre un rapport C/N optimisé de 25/1. Les émissions de GES dues au compostage de la paille de riz sont d'environ 200 à 300 kg de CO<sub>2</sub>/t de paille<sup>(4)</sup>. En plus de la valeur ajoutée de la paille de riz, son compostage mécanisé entraîne une réduction significative des émissions de GES par rapport à l'incorporation de la paille de riz brute. En outre, ne pas brûler la paille de riz est également un critère de la norme de la Plateforme mondiale pour le riz durable, ce qui permet l'introduction du riz dans les marchés haut de gamme à un prix plus élevé.

#### Contact

Hung Van Nguyen (IRRI, CGIAR, Vietnam),  
hung.nguyen@irri.org

#### Autres auteurs

Bjoern Ole Sander et Martin Gummert  
(IRRI, CGIAR, Vietnam)

Nguyen Van Hieu (Université de Tièn  
Giang, Vietnam)

Nguyen Thanh Nghi (Université Nong  
Lam, Vietnam)

#### Plus d'informations

(1) Gummert M. et al., 2019. *Sustainable rice straw management*, Springer Nature.  
<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-030-32373-8.pdf>

(2) Goyal S. et al., 2009. Effect of rice straw compost on soil microbiological properties and yield of rice. *Indian Journal of Agricultural Research*.  
<https://arccjournals.com/journal/indian-journal-of-agricultural-research/ARCC1540>

(3) Nguyen-Van-Hung et al., 2016. Energy efficiency, greenhouse gas emissions, and cost of rice straw collection in the Mekong River Delta of Vietnam. *Field crops research*.  
<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.08.024>

(4) Zhong, J. et al., 2013. Greenhouse gas emission from the total process of swine manure composting and land application of compost. *Atmos. Environ.* <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.08.048>



▲ Processus de compostage de la paille de riz.



# Reverdifier les zones arides en offrant davantage de nourriture et de revenus aux petits exploitants agricoles

Atteindre la sécurité nutritionnelle, alimentaire et des revenus dans les régions sahéniennes reste l'un des plus grands défis de l'humanité. La faible fertilité des sols, la dégradation des terres, la variabilité du climat et la forte croissance des populations qui dépendent de l'agriculture, sont souvent considérées comme des contraintes majeures. Des décennies de recherche appliquée et de développement par l'ICRISAT et ses partenaires au Sahel, ont donné naissance à de nouveaux systèmes de production, de nouvelles pratiques agronomiques et variétés culturales, et un accès innovant aux marchés, etc. Par exemple, **les petits exploitants agricoles dans les conditions agroécologiques sèches du Niger ont considérablement augmenté la productivité agricole et leurs revenus grâce à l'agroforesterie<sup>(1)</sup>**. Une expérimentation à long terme menée avec *Ziziphus mauritiana* (la pomme du



▲ Des agricultrices présentent des légumes produits dans des systèmes de restauration biologique de terres dégradées, Niger. © D. Fatondji/ICRISAT

## Contacts

Vincent Bado (ICRISAT, CGIAR, Niger),  
boubie.vincent.bado@gmail.com

Anthony Whitbread (ICRISAT, CGIAR, Tanzanie),  
a.whitbread@cgiar.org

Dougbedji. Fatondji (ICRISAT, CGIAR, Mali),  
d.fatondji@cgiar.org

## Autres auteurs

Ramadji Tabo (ICRISAT, CGIAR, Mali)

## Plus d'informations

(1) Bado B.V., Whitbread A., Manzo M.L.S., 2020. Improving agricultural productivity using agroforestry systems: performance of millet, cowpea, and ziziphus-based cropping systems in West Africa Sahel. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 305: 107175.  
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107175>

(2) Bado V., 2020. *Ziziphus* agroforestry: a yield and income ladder for millet farmers in Niger. *ICRISAT Happenings Newsletter*. [www.icrisat.org/ziziphus-agroforestry-a-yield-and-income-ladder-for-millet-farmers-in-niger](http://www.icrisat.org/ziziphus-agroforestry-a-yield-and-income-ladder-for-millet-farmers-in-niger)

(3) Zemadim Birhanu B., Whitbread A., Fry C., 2020. How contour bunding and other technologies can reduce soil erosion and raise productivity in African watersheds. [https://wle.cgiar.org/thrive/2020/08/28/how-contour-bundingand-other-technologies-can-reduce-soil-erosion-andraise?utm\\_source=feedburner&utm\\_medium=feed&utm\\_campaign=Feed%3A+WLEThrive+%28Thrive+Blog%29](https://wle.cgiar.org/thrive/2020/08/28/how-contour-bundingand-other-technologies-can-reduce-soil-erosion-andraise?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed%3A+WLEThrive+%28Thrive+Blog%29)

(4) Tabo R., Bationo A., Amadou B., Hassane O., Diallo M.K., Ndjunga J. et al., 2011. Fertilizer microdosing and "Warrantage" or inventory credit system to improve food security and farmers' income in West Africa. In: *Innovations as key to the Green Revolution in Africa. Exploring the scientific facts*. Springer, Netherlands: 113-121.

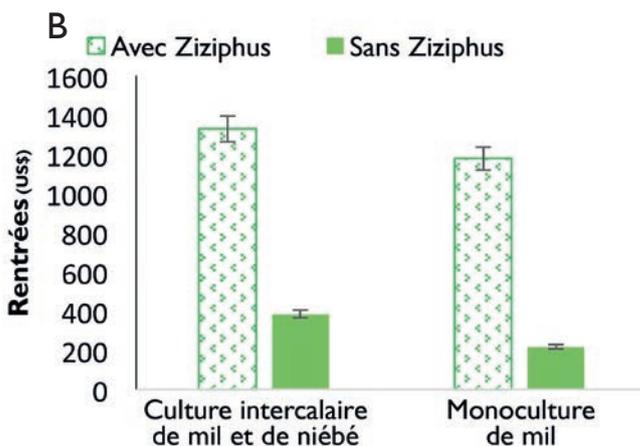
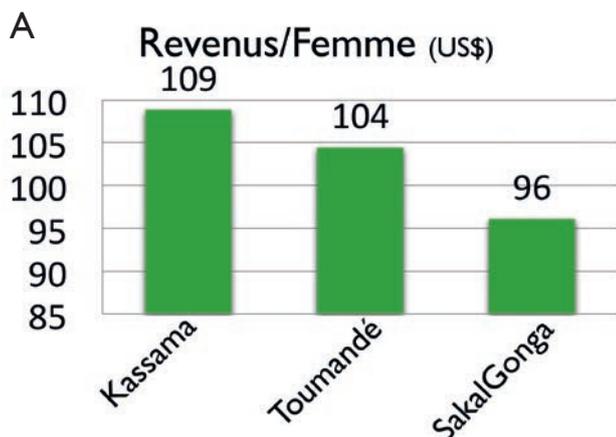
Sahel) à la station de recherche ICRISAT de Sadore, a contribué à augmenter la productivité des systèmes de monoculture de mil (*Pennisetum glaucum*), ou de mil associé au niébé (*Vigna unguiculata*) dans des conditions de faibles intrants, et à multiplier par deux ou trois les revenus<sup>(2)</sup>. Ce système améliore également l'efficacité de l'utilisation de l'eau pluviale, la fertilité du sol et augmente les rendements du mil, tout en conservant les niveaux de carbone organique du sol.

Un autre exemple de reverdissement est **l'approche de restauration biologique des terres dégradées (BDL), par laquelle les femmes participent à la restauration des terres dégradées grâce à une combinaison de techniques nouvelles et indigènes**. Celles-ci comprennent des techniques de collecte de l'eau comme, par exemple, réaliser des cuvettes de plantation en demi-lune, apporter des déchets végétaux et animaux compostés, planter des arbres

fruitiers rustiques de grande valeur (*Moringa oleifera*, *Ziziphus mauritiana*) et des légumes indigènes résistants à la sécheresse (gombo, hibiscus et *Senna obtusifolia*). Ce système, considéré comme sensible au genre, contribue à restaurer les terres à un coût minimal pour les communautés et l'environnement, et à autonomiser les femmes localement tout en garantissant leurs droits fonciers. Ces innovations en matière d'améliorations culturales, agronomiques, de collecte de l'eau<sup>(3)</sup> et de gestion des nutriments par microdosage<sup>(4)</sup>, représentent des bonnes pratiques élaborées de manière participative avec les différentes parties prenantes, puis intégrées dans les systèmes agricoles. Ces approches ont des effets immédiats sur les ménages, notamment une augmentation des revenus, une plus grande sécurité alimentaire et une meilleure nutrition (figures A et B). Les stratégies nationales et régionales de déploiement de ces systèmes agricoles à usages multiples, nécessitent le soutien des décideurs politiques et des donateurs.

▼ **Figure A. Revenus par femme dans trois villages du Niger avec l'approche BDL.** D'après Bado et al. (2020)

▼ **Figure B. Effet des arbres *Ziziphus* sur les revenus des ménages dans des monocultures de mil et des cultures intercalaires de mil et de niébé.** D'après Bado et al. (2020)





# La régénération naturelle par les agriculteurs pour restaurer les terres d'Afrique subsaharienne : opportunités et contraintes

La régénération naturelle gérée par les agriculteurs (RNGA) comprend un ensemble de pratiques agroécologiques utilisées par les agriculteurs pour stimuler la croissance des arbres des terres agricoles. La RNGA est également associée à l'augmentation de la productivité agricole grâce à l'amélioration de la fertilité des sols, notamment via l'augmentation du carbone du sol<sup>(1)</sup>, la production d'aliments pour le bétail, l'augmentation des revenus, et d'autres bénéfices environnementaux. Elle est largement promue en Afrique comme une stratégie rentable de restauration des terres dégradées qui pallie aux faibles taux de survie des plantations d'arbres dans les zones arides et semi-arides. Une analyse des données en lien avec les contextes dans lesquels la RNGA est pratiquée en Afrique subsaharienne, sur la manière dont elle influence la composition de la végétation en régénération

et sur les bénéfices environnementaux et socio-économiques qui en résultent (figure)<sup>(2)</sup>, a révélé que **les données quantitatives sur la RNGA sont rares** et proviennent principalement des expérimentations menées dans les régions de Maradi et de Zinder au Niger. Des avancées récentes dans la compréhension de l'influence du contexte sur la diversité et l'abondance des arbres en régénération, et donc sur le fonctionnement de l'écosystème, suggèrent que ce sont **l'intensité de l'utilisation des terres (pâturage et pratiques agricoles) et la limitation de la dispersion qui inhibent la régénération, et pas la dégradation des terres**<sup>(3)</sup>. La composition fonctionnelle des communautés en régénération évolue avec l'augmentation de l'intensité de l'utilisation des terres, vers des plantes de petite taille, à petites graines et aux stratégies conservatrices.

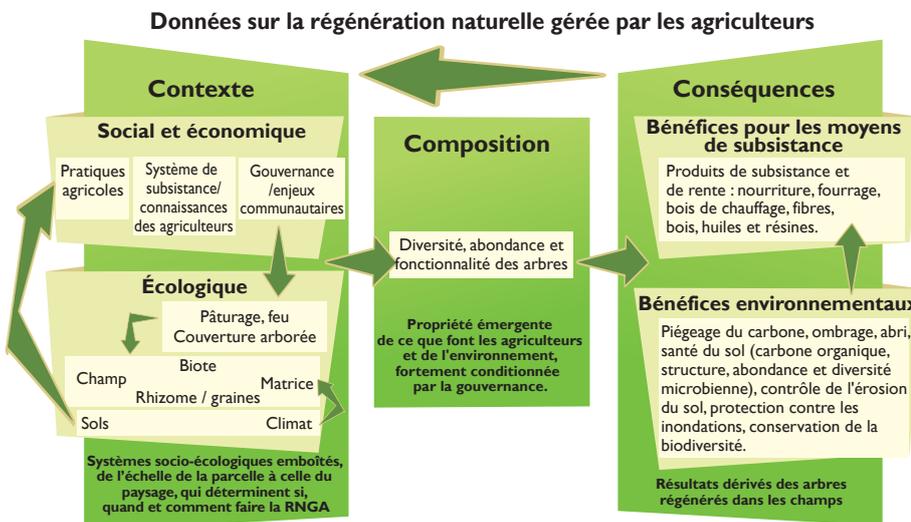
Cependant, il existe peu de données reliant fonctions de l'agroécosystème et bénéfices sur les moyens de subsistance, ce qui rend difficile de savoir où et à qui la RNGA s'adresse, et où il serait nécessaire de la combiner avec des plantations d'enrichissement. Étant donné le besoin de pratiques de restauration des terres agricoles en Afrique, il est nécessaire de combiner écologie fonctionnelle et évaluations socio-économiques, et de les intégrer comme composantes de co-apprentissage dans les initiatives de développement. Cela permettrait de combler les principales lacunes de connaissances et ainsi de fournir des conseils adaptés selon le contexte sur où et comment promouvoir la RNGA, puis de calculer le retour sur investissement de cette démarche.

### Contacts

Susan Chomba (ICRAF, CGIAR, Kenya), s.chomba@cgiar.org  
 Madelon Lohbeck (Université de Wageningen, Pays-Bas), madelon.lohbeck@wur.nl  
 Fergus Sinclair (ICRAF, CGIAR, Kenya/ Université de Bangor, Royaume-Uni), f.sinclair@cgiar.org

### Plus d'informations

- (1) Bayala J., Sanou J., Bazié H.R., Coe R., Kalinganire A., Sinclair F.L., 2020. Regenerated trees in farmers' fields increase soil carbon across the Sahel. *Agroforestry Systems*, 94: 401-415. <https://doi.org/10.1007/s10457-019-00403-6>
- (2) Chomba S., Sinclair F., Savadogo P., Bourne M., Lohbeck M., 2020. Opportunities and constraints for using farmer managed natural regeneration for land restoration in Sub-Saharan Africa. *Frontiers in Forests and Global Change*, 3: 571679. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2020.571679>
- (3) Lohbeck M., Albers P., Boels L.E., Bongers F., Morel S., Sinclair F., Takoutsing B., Vågen T.-G., Winowiecki L.A., Smith-Dumont E., 2020. Drivers of farmer-managed natural regeneration in the Sahel. *Nature Scientific Reports*, 10: 15038. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70746-z>

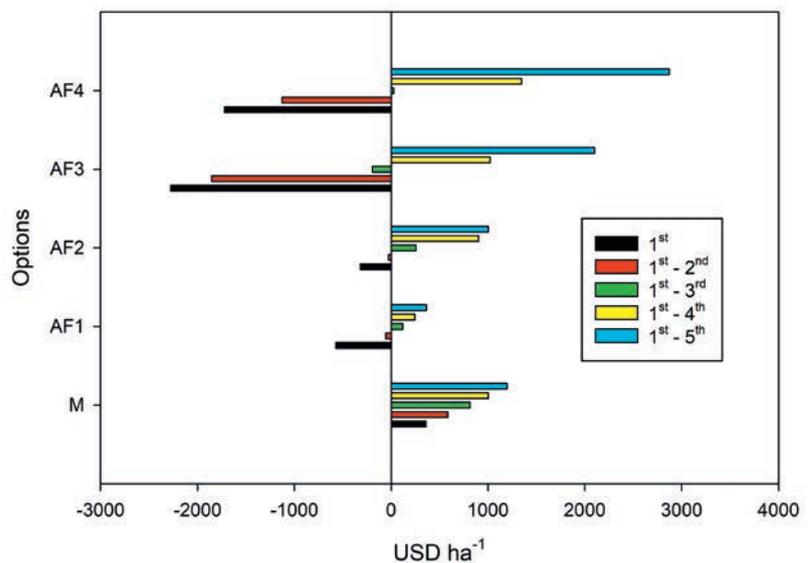


▲ Cadre analytique d'évaluation des données scientifiques pour intensifier l'utilisation de la RNGA des arbres dans les terres agricoles. D'après Chomba et al. (2020)



# Monocultures versus agroforesterie : analyse comparative de leurs contributions à l'économie des ménages agricoles des hautes terres du nord-ouest du Vietnam

L'agroforesterie est un moyen potentiel d'améliorer les moyens de subsistance des petits exploitants et de réduire la dégradation des sols. Cependant, l'impact de l'agroforesterie sur les revenus globaux des ménages agricoles doit être évalué afin de stimuler son adoption au nord-ouest du Vietnam. Différentes options agroforestières – arbres fruitiers, cultures annuelles et herbes fourragères – ont été évaluées au champ. **Selon les options agroforestières, le seuil de rentabilité est atteint au cours de la 2<sup>e</sup> ou 3<sup>e</sup> année.** Les retours sur investissement (RI) sur 5 ans des options « longan+maïs+herbe fourragère », « acacia+mangue+maïs+herbe fourragère », « acacia+longan+café+soja+herbe fourragère », « teck+prune+café+soja+herbe fourragère », sont respectivement de 7 %, 25 %, 39 % et 59 %. La monoculture de maïs fournit des revenus annuels et un RI de 38 % sur 5 ans. Comparée aux cultures annuelles, l'agroforesterie seule nécessite un coût d'investissement plus élevé et elle reste lente à générer des revenus intéressants. Cependant, la contribution de l'agroforesterie aux revenus totaux des ménages doit être prise en compte.



▲ Comparaison des bénéfices issus de monocultures de maïs et de différentes options agroforestières sur une période de 5 ans. M : monoculture de maïs  
 AF1 : longan+maïs+herbe fourragère  
 AF2 : acacia+mangue+maïs+herbe fourragère,  
 AF3 : acacia+longan+café+soja+herbe fourragère  
 AF4 : teck+prune+café+soja+herbe fourragère.

Une enquête a été menée auprès de 30 ménages dont les membres pratiquaient l'agroforesterie depuis 2015. Les résultats révèlent qu'au cours des deux ou trois premières années, le fourrage et le maïs issus de pratiques agroforestières fournissent une part importante des matières premières pour l'élevage - une activité de subsistance locale essentielle. **Dès la troisième année, l'agroforesterie contribue de 5 à 10 % environ du revenu total. Cette part augmente jusqu'à environ 50 % la sixième année.** En retour, le fumier d'élevage est utilisé comme source de nutriments pour les cultures dans les champs. Les revenus provenant d'autres zones agricoles, du bétail et d'activités non agricoles, sont également investis dans l'agroforesterie. Une évaluation plus approfondie du rôle global de

l'agroforesterie pourrait mettre en lumière les mécanismes par lesquels les agriculteurs l'adaptent pour répondre à leurs propres conditions spécifiques. Cela pourrait en retour faciliter l'adoption de certaines pratiques agroforestières. En conclusion, **l'agroforesterie contribue significativement à l'économie des ménages. Sa promotion devrait toutefois être adaptée aux besoins des agriculteurs et soutenir aussi les autres activités économiques des ménages ruraux.**

#### Contact

Nguyen La (ICRAF, CGIAR, Vietnam), l.nguyen@cgiar.org

#### Autres auteurs

Thach Van Nguyen, Hung Van Do et Hoa Do La (ICRAF, CGIAR, Vietnam)

#### Plus d'informations

• Do V.H., La N., Mulia R., Bergkvist G., Dahlin A.S., Nguyen V.T., Pham H.T., Öborn I., 2020. Fruit treebased agroforestry systems for smallholder farmers in Northwest Vietnam. A quantitative and qualitative assessment. *Land*, 9(11): 451.

<https://doi.org/10.3390/land9110451>

• Do H., Luedeling E., Whitney C., 2020. Decision analysis of agroforestry options reveals adoption risks for resource-poor farmers. *Agron. Sustain. Dev.* 40: 20. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00624-5>



## Évaluation de bio-inoculants commerciaux utilisés pour l'agriculture durable

*Importance de leur qualité microbienne et conséquences pour les utilisateurs finaux*

L'inoculation des cultures avec des micro-organismes bénéfiques est une « success story » de la microbiologie des sols appliquée. Elle fournit une source durable et efficace de nutriments aux plantes tout en supprimant les populations d'agents pathogènes du sol et en réduisant la dépendance vis-à-vis des engrais chimiques et des pesticides. La demande croissante d'alternatives durables et respectueuses de l'environnement a entraîné la prolifération des bio-inoculants commerciaux dans le monde entier, tous prétendant améliorer considérablement la productivité des cultures. Cependant, nombre de ces produits sont vendus sans données scientifiques solides étayant leur efficacité et leur qualité. Jusqu'à présent, peu d'attention a été accordée à la qualité de ces bio-inoculants au cours de leur production,

ce qui a conduit à une efficacité considérablement réduite et, par conséquent, à une adoption moindre par les agriculteurs. Il existe ainsi une demande croissante pour un système de contrôle de la qualité des bio-inoculants commerciaux disponibles.

Nous avons évalué la qualité microbienne de divers bio-inoculants (bactériens et endomycorhiziens) disponibles sur le marché mondial pour vérifier s'ils répondaient aux allégations des fabricants et avoir une idée de la qualité des produits facilement disponibles pour les agriculteurs. Nos résultats ont montré que la majorité (> 60 %) des bio-inoculants bactériens contenaient une ou plusieurs souches bactériennes contaminantes, et que **seulement 37 % des produits pouvaient être considérés comme « purs ».** Environ

**40 % des produits testés ne contenaient aucune des souches indiquées mais uniquement des contaminants<sup>(1)</sup>. De même, les bio-inoculants contenant des champignons mycorrhiziens à arbuscules (CMA) étaient généralement de qualité et d'efficacité médiocres,** seuls trois produits ayant entraîné une augmentation significative de la colonisation des racines et de la biomasse des jeunes plantes. Des contaminants ont été trouvés dans la majorité des produits contenant des CMA, tandis que les spores de plusieurs espèces indiquées n'ont pas été détectées dans les produits<sup>(2)</sup>. **Ces résultats soulignent l'importance d'un programme de contrôle de qualité qui soit efficace et réglementaire pour garantir que des bio-inoculants efficaces parviennent jusqu'aux utilisateurs finaux.**



▲ Purification de différentes souches bactériennes trouvées dans les bio-inoculants commerciaux.

© L. Herrmann

#### Contacts

Laetitia Herrmann (Alliance of Bioersity International and CIAT, Asia Hub, Common Microbial Biotechnology Platform, CMBP, Vietnam), l.herrmann@cgiar.org

Didier Lesueur (Eco&Sols, Cirad, France/Alliance of Bioersity International and CIAT, Asia Hub, CMBP, Vietnam), d.lesueur@cgiar.org

#### Autres auteurs

Mary Atieno (Alliance of Bioersity International and CIAT, Asia Hub, CMBP, Vietnam)

Lambert Bräu (Université de Deakin, Australie)

#### Plus d'informations

(1) Herrmann L., Atieno M., Bräu L., Lesueur D., 2015. Microbial quality of commercial inoculants to increase BNF and nutrient use efficiency (chapter 101). In de Bruijn F.J. (ed): *Biological nitrogen fixation, volume 2*. John Wiley & Sons: 1031-1040.

(2) Faye A., Dalpe Y., Ndung'u Magiroi K., Jefwa J., Ndoye I., Diouf M., Lesueur D. 2013. Evaluation of commercial arbuscular mycorrhizal inoculants. *Canadian Journal of Plant Sciences*, 9: 1201-1208.

• CMBP, Common Microbial Biotechnology Platform : [www.cmbp-network.org](http://www.cmbp-network.org)

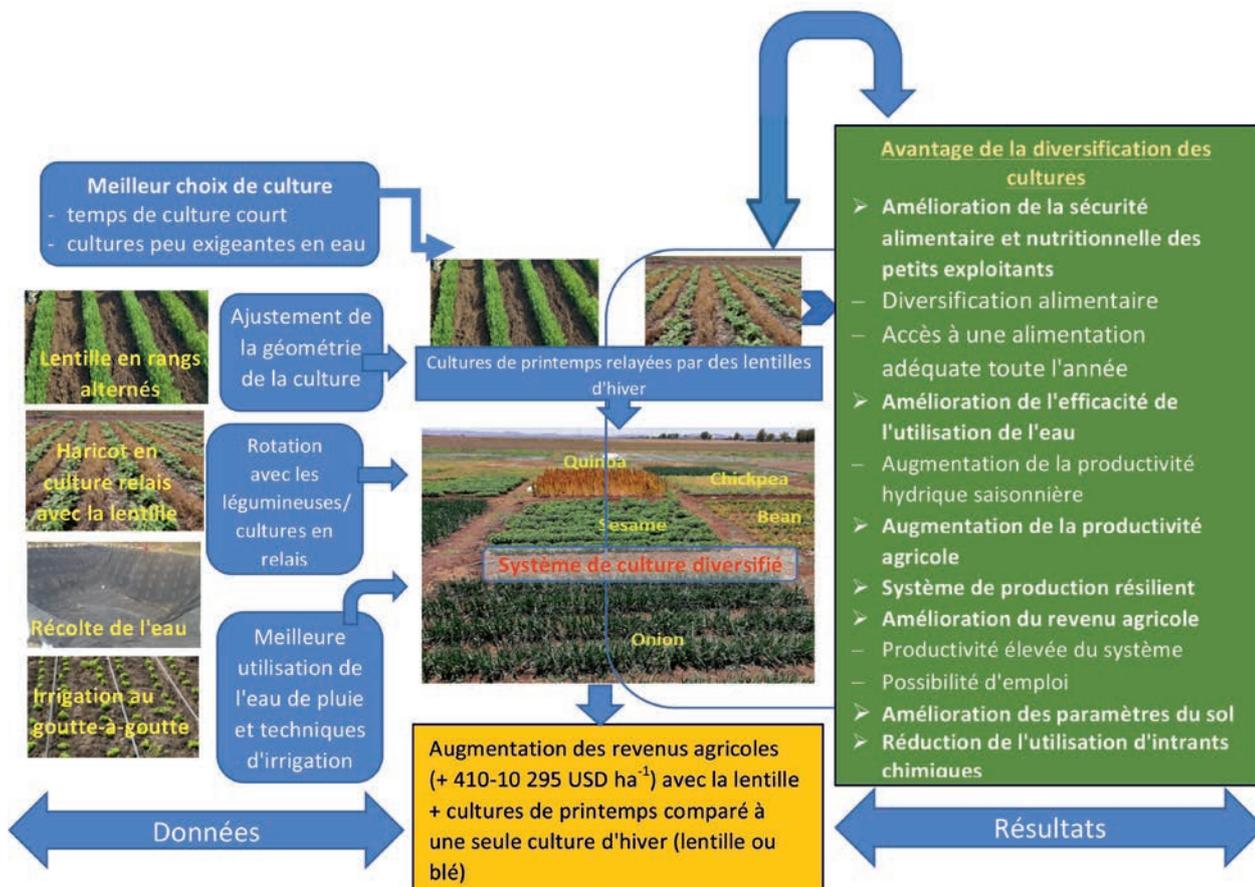
# Les systèmes de culture diversifiés améliorent les revenus, la nutrition et l'efficacité de l'utilisation de l'eau des petits exploitants agricoles d'Afrique du Nord et d'Asie du Sud

La variabilité croissante des précipitations et la diminution des ressources en terre et en eau ont un impact important sur la productivité des cultures dans les zones pluviales arides, avec pour conséquence une pénurie alimentaire aiguë parmi les communautés rurales des régions du Moyen-Orient et d'Afrique du Nord (MENA) et d'Asie du Sud. Les eaux souterraines étant la principale source d'irrigation dans la région MENA, leur surexploitation - principalement pour l'agriculture - est susceptible d'augmenter avec le temps, ce qui nécessite une utilisation plus efficace de l'eau afin de maintenir la production alimentaire. À cette fin, l'ICARDA a exploré différentes options de diversification des systèmes de culture grâce à un meilleur choix des cultures et une utilisation plus efficace de l'eau, et ce afin d'améliorer la productivité agricole et la rentabilité des exploitations des petits exploitants agricoles de ces régions disposant de ressources en terre et en eau limitées. Un meilleur choix des cultures,

associé à une collecte de l'eau pluviale, permet à la fois une irrigation complémentaire et l'intensification des systèmes. Cela réduit également le risque de mauvaises récoltes et le calendrier cultural est prolongé grâce à des cultures supplémentaires, comme par exemple une culture de printemps dans les conditions climatiques méditerranéennes<sup>(1)</sup> et une culture d'hiver dans les zones semi-arides indiennes<sup>(2)</sup>.

La diversification des systèmes de culture de blé avec des semis d'une culture de printemps en relais à haute valeur ajoutée et peu exigeante en eau, et dans des lentilles à maturation précoce, combinée à une irrigation supplémentaire au goutte-à-goutte, a augmenté la productivité du système et les revenus agricoles (+ 410- 10 295 USD.ha<sup>-1</sup>) tout en doublant l'efficacité de l'utilisation de l'eau par rapport à une monoculture de céréales dans un environnement pluvial méditerranéen au Maroc<sup>(1)</sup>. De même, dans les

zones semi-arides du centre de l'Inde, la collecte de l'excès d'eau pendant la saison des pluies a permis aux agriculteurs de produire une culture supplémentaire pendant l'hiver grâce à la mise en place d'une irrigation au goutte-à-goutte avec ces eaux pluviales récupérées. La diversification des rotations culturales avec des légumineuses est également favorable à l'agroécologie en limitant les infestations de ravageurs et les maladies et en réduisant l'utilisation d'engrais chimiques. Ces résultats pourraient s'appliquer à des environnements similaires en Afrique subsaharienne, en Asie du Sud et dans la région MENA afin d'améliorer la productivité du système, la rentabilité des exploitations et la sécurité alimentaire et nutritionnelle globale, tout en réduisant les risques de production associés aux précipitations variables, à la baisse des eaux souterraines et aux conditions climatiques changeantes/variables.



▲ Diversification des systèmes de culture avec le semis d'une culture de printemps dans la lentille semée en hiver, avec une irrigation supplémentaire au goutte-à-goutte : une étude de cas dans un environnement pluvial méditerranéen au Maroc.

#### Contacts

Mina Devkota (ICARDA, CGIAR, Maroc),  
m.devkota@cgiar.org

Vinay Nangia (ICARDA, CGIAR, Maroc),  
v.nangia@cgiar.org

#### Plus d'informations

(1) Devkota M., Nangia V., Wery J., 2020. Opportunity to diversify cropping system through relay-cropping and better use of rainwater to enhance farmer income and water use efficiency in rainfed Mediterranean agriculture. Abstract submitted to the 7<sup>th</sup> International Symposium for farming systems design on designing climate smart agricultural systems for a sustainable transition in the agri-food systems of the dry areas, March 20-23, 2022.

(2) Nangia V., Sinha R., Kuri B.R., 2020. Adaptive on-farm management of water resources for sustainable rainfed food production in central India. Abstract submitted to the 7<sup>th</sup> International Symposium for farming systems design on designing climate smart agricultural systems for a sustainable transition in the agri-food systems of the dry areas, March 20-23, 2022.

# Substituer les intrants les plus nocifs pour l'environnement



## Contrôle agroécologique de la chenille légionnaire d'automne

La légionnaire d'automne (FAW pour *fall armyworm*) est un ravageur majeur des céréales, en particulier du maïs et du riz. Originaires d'Amérique du Nord et du Sud, elle a été détectée pour la première fois en Afrique de l'Ouest en 2016 et s'est ensuite propagée sur tout le continent et en Asie. Des estimations prévoient que la FAW pourrait causer jusqu'à 13 milliards de dollars par an de pertes de récoltes dans toute l'Afrique subsaharienne, menaçant ainsi les moyens de subsistance de millions d'agriculteurs pauvres<sup>(1)</sup>. L'utilisation, intensive et mauvaise, de pesticides en Afrique subsaharienne constitue un enjeu majeur pour la santé humaine et environnementale. Nous menons actuellement des recherches sur des approches agroécologiques afin de développer des stratégies robustes de lutte intégrée des FAW, qui soient à la fois culturellement appropriées, peu coûteuses et facilement intégrables dans les systèmes

existants afin d'améliorer les revenus et la résilience des petits exploitants grâce à une intensification durable<sup>(2)</sup>. **Les approches agroécologiques de lutte contre les ravageurs reposent sur trois stratégies complémentaires :** (i) améliorer la santé des plantes et leur résistance aux attaques par une meilleure gestion de la fertilité des sols, notamment par l'augmentation du carbone organique des sols ; (ii) diversifier l'habitat agricole à l'échelle de l'exploitation et du paysage afin de fournir un espace vital et des ressources aux ennemis naturels ; et (iii) intervenir à l'échelle de la parcelle afin de perturber la capacité des ravageurs à localiser leurs hôtes, tout en augmentant l'efficacité des ennemis naturels. Grâce à une expérimentation à grande échelle et hautement répliquée dans douze paysages du Malawi et de la Zambie, nous

étudions les rôles de la couverture arborée à l'échelle du paysage, de la diversité de l'habitat à l'échelle de l'exploitation et de la gestion à l'échelle de la parcelle, notamment pour l'agriculture de conservation et la culture intercalaire avec des légumineuses. Nous développons également des protocoles et des outils de gestion des données qui permettront de reproduire cette expérimentation à l'échelle mondiale. Nos résultats initiaux, issus de la première année d'expérimentation au Malawi et en Zambie, indiquent que les populations de FAW dans les champs des petits exploitants sont faibles et n'augmentent pas au fur et à mesure que la saison avance, ce qui suggère qu'il existe des facteurs de mortalité naturelle. Nous suivons actuellement une deuxième saison d'expérimentations et examinons les effets des traitements à différentes échelles.



### ▲ Quelques approches agroécologiques pour la gestion des nuisibles.

- (1) Une perturbation minimale du sol améliore les propriétés biologiques du sol.
- (2) Le paillage améliore les sols et fournit un habitat aux prédateurs des insectes.
- (3) Les cultures intercalaires améliorent la fertilité du sol et diversifient l'environnement de la parcelle.
- (4) Les arbustes à fleurs maintiennent les populations de parasitoïdes.
- (5) Les arbres offrent des perchoirs aux oiseaux et aux chauves-souris.
- (6) La rotation culturale améliore la fertilité des sols et diversifie l'environnement de l'exploitation agricole.
- (7) Le repérage permet d'identifier les nuisibles et d'évaluer les seuils d'intervention.
- (8) et (9) Les bordures diversifiées des parcelles offrent un habitat aux prédateurs d'insectes.
- (10) Les oiseaux insectivores et les chauves-souris réduisent l'abondance des ravageurs.
- (11) Hôtel à insectes pour les guêpes prédatrices.
- (12) Guêpe prédatrice.

### Contact

Rhett D. Harrison (ICRAF, CGIAR, Zambie), r.harrison@cgiar.org

### Plus d'informations

- (1) Abrahams P., Bateman M., Beale T., Clotey V., Cock M., et al., 2017. *Fall armyworm: impacts and implications for Africa. Outlooks on Pest Management*, 28(5): 196-201.
- (2) Harrison R.D., Thierfelder C., Baudron F., Chinwada P., Midege C., Schaeffner U., van den Berg J., 2019. Agro-ecological options for fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* JE Smith) management: providing low-cost, smallholder friendly solutions to an invasive pest. *Journal of Environmental Management*, 243: 318-330.
- (3) Sinclair F., Wezel A., Mbow C., Chomba S., Robiglio V., Harrison R.D., 2019. *The contribution of agroecological approaches to realizing climate resilient agriculture*. Rotterdam and Washington DC. Disponible à : [www.gca.org](http://www.gca.org)



## Bio-écologie et gestion durable de la légionnaire d'automne, espèce envahissante des cultures de sorgho

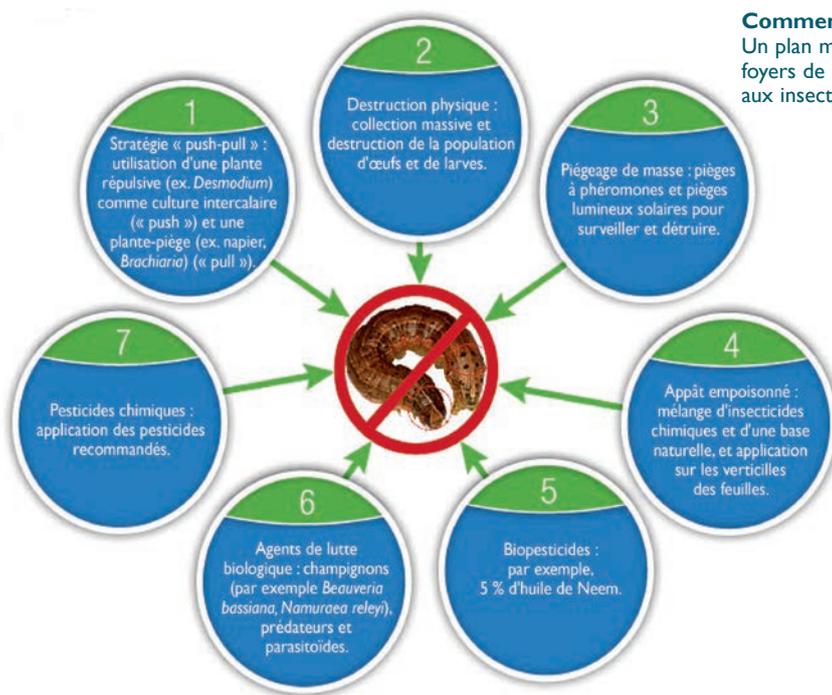
La légionnaire d'automne (FAW), *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera : Noctuidae), est un ravageur économiquement important originaire des Amériques qui a récemment envahi l'Inde. Ce ravageur polyphage se nourrit de 100 plantes hôtes appartenant à 27 familles de plantes. Il préfère se nourrir de graminées, principalement de maïs, mais il se nourrit également de sorgho, de millet perlé et d'éleusine (cultures mandats de l'ICRISAT). De nombreuses options de lutte ont été évaluées à l'ICRISAT (Patancheru, Hyderabad, Inde) afin de développer une stratégie de gestion efficace de ce ravageur. Les résultats montrent que si les semences sont traitées avec

Fortenza Duo (5 ml/kg), les plants de sorgho sont résistants à l'infestation par les FAW jusqu'à 25-30 jours après le semis, avec 15,0 % de dégâts foliaires contre 45,0 % pour le témoin<sup>(1,2)</sup>. Suit le traitement avec l'imidacloprid (4 g/kg) avec 20,0 % de dégâts. D'autres options de gestion – pièges à phéromones, retrait manuel des œufs de FAW sur les plantes hôtes et appâts empoisonnés – ont également été évaluées. Des insecticides, notamment le chlorantraniliprole, le spinetoram et le benzoate d'émamectine, ainsi que des biopesticides tels que *Metarhizium rileyi*, *Streptomyces* spp., Ecolaid Freedom et l'huile de margousier, ont été évalués et se sont avérés efficaces pour réduire la population de larves

de FAW dans les cultures de sorgho et de maïs<sup>(1,2)</sup>. Le système de culture à base de sorgho de type « push-pull » – avec l'herbe à napier (*Pennisetum purpureum*) comme culture-piège de bordure (« pull ») et le niébé (*Vigna unguiculata*) et le haricot mungo (*Vigna radiata*) comme cultures intercalaires (plantes répulsives, « push ») – présente le moins de dégâts (5,0 %) comparé à la parcelle témoin (25 %). **La mise en œuvre de telles pratiques, ainsi que d'autres pratiques de gestion, a réduit, avec succès, la densité des ravageurs dans les cultures de sorgho.**

### Comment la combattre ?

Un plan méticuleux et par étapes est nécessaire pour gérer les foyers de FAW afin d'éviter le développement d'une résistance aux insecticides et de protéger l'environnement.



### Contact

Jagdish Jaba (ICRISAT, CGIAR, Inde), [j.jagdish@cgiar.org](mailto:j.jagdish@cgiar.org), [jaba.jagdish@gmail.com](mailto:jaba.jagdish@gmail.com)

### Autres auteurs

Vinod Kukanur, Jatin, Suraj Prashad Mishra, Gopalakrishnan S. et Pankaj Makanwar (ICRISAT, CGIAR, Inde)

Sharnabasappa Deshmukh (Université des sciences agricoles et horticoles, Karnataka, Inde)

### Plus d'informations

(1) Deshmukh S.S., Prasanna B.M., Kallelshwaraswamy C.M., Jaba J., Choudhary B., 2021. Fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*). In Omkar (eds): *Polyphagous pests of crops*. Springer, Singapore.

[https://doi.org/10.1007/978-981-15-8075-8\\_8](https://doi.org/10.1007/978-981-15-8075-8_8)

(2) Jaba J., Suraj Mishra, Pankaj Maknwar, 2019. *Strategies for sustainable management of fall armyworm, Spodoptera frugiperda (J.E. Smith) in sorghum*. Paper presented in XIX International Plant protection congress IPPC2019, 10-14 November, 2019, Hyderabad, Telangana, India. [www.researchgate.net/publication/344768815\\_Strategies\\_for\\_sustainable\\_management\\_of\\_fall\\_armyworm\\_](http://www.researchgate.net/publication/344768815_Strategies_for_sustainable_management_of_fall_armyworm_)

▲ Étapes de la gestion durable de la chenille légionnaire d'automne. © ICRISAT



## Les pièges à phéromones du *Spodoptera frugiperda* réduisent l'utilisation d'insecticides dans les systèmes de culture du maïs au Mexique

La légionnaire d'automne (FAW), *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith), est un lépidoptère nuisible originaire des Amériques, qui a commencé à se répandre récemment dans le monde entier<sup>(1)</sup>. C'est un ravageur très répandu dans la plupart des zones de production de maïs (*Zea mays* L.) au Mexique, où il peut causer la perte de l'ensemble des récoltes s'il n'est pas géré, en particulier dans les zones (sub) tropicales. Les agriculteurs manquent généralement de connaissances sur la gestion durable des FAW, et appliquent souvent de grandes quantités d'insecticides hautement toxiques pour lutter contre ce ravageur, à l'origine de problèmes environnementaux et sanitaires<sup>(2)</sup>. Les phéromones sexuelles des FAW ont d'abord été utilisées pour surveiller les populations afin de déterminer les besoins d'insecticides ; elles sont maintenant utilisées pour leur capture massive et pour perturber leur reproduction. Dans ces pièges, un leurre de phéromone est suspendu dans un récipient de 20 litres avec des ouvertures latérales (photo A).



▲ Photo A. Pièges à phéromones dans un champ à Indaparapeo, Michoacán. © CIMMYT

Le fond du récipient est rempli d'eau savonneuse. Les mâles sont attirés par ce leurre et se noient. Les pièges peuvent capturer un grand nombre de mâles - plus de 200 mâles par ha et par jour - selon la population locale (photo B). En général, **quatre pièges par hectare peuvent capturer suffisamment de mâles pour réduire considérablement la reproduction, réduisant, ou éliminant, le besoin d'insecticides pour contrôler les FAW.** Le coût des pièges à phéromones et des insecticides est similaire, mais les phéromones n'ont aucun effet négatif sur les espèces non ciblées ou sur la santé des agriculteurs. Les inconvénients comprennent la nécessité de changer l'eau fréquemment, ce qui demande beaucoup de travail, le fait que les pièges à phéromones sont très spécifiques et ne contrôlent pas d'autres espèces de ravageurs, et la difficulté de s'approvisionner en phéromones sur les marchés locaux. Le CIMMYT s'est associé à l'INIFAP - l'institut national de recherche mexicain qui a développé cette pratique - pour mettre en œuvre la gestion agroécologique des ravageurs dans le cadre d'essais collaboratifs. **Les pièges ont maintenant été mis en place avec succès dans tout le Mexique**

**et sont également testés au Zimbabwe. Il s'agit d'une méthode sûre, économique et écologique de lutte contre les FAW, et qui est adaptée aux petits exploitants agricoles.**

#### Contacts

Simon Fonteyne (CIMMYT, CGIAR, Mexique),  
s.fonteyne@cgiar.org

Fernando Bahena (CE Uruapan, Institut national de recherches forestières, agricoles et pastorales, Inifap, Mexique), bahena.fernando@inifap.gob.mx

Nele Verhulst (CIMMYT, CGIAR, Mexique),  
n.verhulst@cgiar.org

#### Plus d'informations

(1) Prasanna B., Huesing J.E., Eddy R., Peschke V.M., 2018. *Fall armyworm in Africa: a guide for integrated pest management*. Mex CDMX CIMMYT, First Edit: 45-62. [www.maize.org](http://www.maize.org)

(2) Bejarano González F. 2017. *Los plaguicidas altamente peligrosos en México*. Texcoco, Mexico: Red de Acción sobre Plaguicidas y Alternativas en México, A.C. (RAPAM).



◀ Photo B. Capture massive d'adultes mâles de *Spodoptera frugiperda* à Indaparapeo, Michoacán. © F. Bahena

## Des filets anti-insectes pour faciliter la transition agroécologique en Afrique

La production de légumes en Afrique subsaharienne est en plein essor pour nourrir la population croissante, mais le recours à la lutte chimique intensive reste très répandu. Comment augmenter le rendement des cultures sans recourir aux intrants chimiques tout en favorisant l'agroécologie ? Le transfert de technologies et l'adoption de techniques abordables

et de faible technicité, comme l'utilisation de filets, pourraient permettre de relever ce défi et réduire les traitements insecticides. Des recherches menées au Bénin, en Tanzanie et au Kenya, ont montré que les filets à insectes sont faciles à utiliser et protègent les plantes contre les grands ravageurs et les conditions climatiques extrêmes. Produire des cultures telles que la tomate, les haricots, le chou,

le poivron, etc., sous de tels filets permet de réduire les attaques de ravageurs, en particulier ceux responsables de dommages directs aux fruits ou aux feuilles, notamment les oiseaux, les escargots, les criquets, les chenilles et les mouches. Cependant, ces filets ne protègent pas complètement les cultures contre les ravageurs se nourrissant du phloème, comme les pucerons, les aleurodes, les thrips et les mites, dont certains peuvent transmettre des virus. L'environnement confiné sous les filets facilite néanmoins la lutte biologique contre ces ravageurs et la pollinisation par des abeilles provenant de ruches munies de deux ouvertures leur permettant ainsi d'accéder à l'intérieur et à l'extérieur de la serre. **Cette technique permet aux agriculteurs de réduire drastiquement l'utilisation de pesticides, tout en atténuant les effets des conditions climatiques extrêmes** telles qu'un fort ensoleillement, de fortes pluies et des vents secs. Les filets d'ombrage diminuent le stress thermique pendant la saison sèche et un toit en plastique peut réduire davantage le risque de maladies fongiques pendant la saison des pluies. Par conséquent, les moustiquaires contribuent à prolonger la période de production, à augmenter le rendement des cultures et à améliorer la qualité en termes de caractéristiques organoleptiques et de réduction des résidus de pesticides. Les techniques de culture protégée sont

souvent critiquées en raison de l'utilisation de plastique. Cependant, un filet anti-insectes peut être recyclé et l'efficacité accrue de l'utilisation des intrants agricoles compenserait les impacts négatifs, comme le suggèrent les analyses du cycle de vie. La faible capacité d'investissement des agriculteurs les empêche d'adopter cette technologie de filets anti-insectes, bien que les analyses coût-efficacité aient montré qu'ils permettent de contrebalancer les variations de rendement des cultures et donc des revenus des agriculteurs. Ces filets peuvent stabiliser les flux de trésorerie, réduire la volatilité de la production et les variations de qualité. **L'utilisation de filets anti-insectes améliore ainsi la vision à long terme des agriculteurs en réduisant les risques, ce qui leur permet de réaliser des investissements à moyen terme à moindre risque.**

#### Contacts

Émilie Deletre (HortSys, Cirad, France),  
emilie.deletre@cirad.fr

Thibault Nordey (HortSys, Cirad, France),  
thibault.nordey@cirad.fr

Thibaud Martin (HortSys, Cirad, France),  
thibaud.martin@cirad.fr

#### Plus d'informations

• Martin T., Parrot L., Belmin R., Nordey T., Basset-Mens C., Biard Y., Deletre E., Simon S., Le Bellec F., 2019. *Anti-insect nets to facilitate the agroecological transition in Africa*. In Côte F.-X. et al. (eds): *The agroecological transition of agricultural systems in the Global South*. Éditions Quae, Versailles: 75-87.

• Nordey T., Basset-Mens C., De Bon H., Martin T., Deletre E., Simon S., Malézieux E., 2017. *Protected cultivation of vegetable crops in sub-Saharan Africa: limits and prospects for smallholders. A review. Agronomy for Sustainable Development*, 37(6): 1-20.

• Eco-friendly nets 2. A profitable climate smart agriculture technology (vidéo) : [www.youtube.com/watch?v=Y6Ri6SuWtqk](http://www.youtube.com/watch?v=Y6Ri6SuWtqk)

• Eco-friendly nets to avoid the use of pesticides (vidéo) : [www.youtube.com/watch?v=Vb-Ewrq42II](http://www.youtube.com/watch?v=Vb-Ewrq42II)



▲ Tunnels hauts avec des filets de 0,9 mm de chaque côté et un toit en plastique avec des filets d'ombrage adaptés aux conditions climatiques humides et chaudes d'Arusha, Tanzanie. © T. Nordey



▲ Production de tomates biologiques sous des filets anti-insectes dans la région de Nairobi, Kenya. © T. Martin

## Une gestion nouvelle génération de la santé des plantes fondée sur des principes agroécologiques scientifiques

Des innovations numériques abordables offrent, grâce aux téléphones portables, des solutions adaptées de gestion des nuisibles et donnent aux agriculteurs africains faiblement alphabétisés les moyens d'éviter de recourir à des traitements pesticides inappropriés. **Premier pilier de notre nouveau paradigme, ces innovations numériques mobiles doivent tenir compte des différents niveaux d'alphabétisation et des langues variées des acteurs de la lutte contre les nuisibles.** Des efforts et des investissements soutenus sont nécessaires pour traduire des approches de lutte contre les nuisibles qui soient validées scientifiquement et adaptées aux conditions locales, et ce dans des formats pédagogiques adaptés à un public nombreux<sup>(1)</sup>. **Le deuxième pilier repose sur la recherche de la cause d'un problème donné de nuisibles, au lieu de se contenter de traiter les symptômes.** Ceci est illustré par une étude de cas sur le foreur de gousses de légumineuses (*Maruca vitrata*) en Afrique de l'Ouest<sup>(2)</sup>. Le scénario « *business as usual* » considèrerait tacitement que ce ravageur était indigène en Afrique de l'Ouest et donnait la priorité au développement de variétés résistantes combiné à des applications d'insecticides. Cependant, la faible diversité, le manque de spécificité et la faible efficacité des ennemis naturels présents localement en Afrique de l'Ouest nous ont incités à remettre en question le statut indigène du foreur des gousses, ce qui a été récemment confirmé par les résultats d'études de génétique des populations

qui ont démontré son origine asiatique tropicale. Une diversité beaucoup plus grande de parasitoïdes hyménoptères a été documentée en Asie par rapport à l'Afrique de l'Ouest. Les deux candidats asiatiques les plus prometteurs pour la lutte biologique ont maintenant été relâchés en Afrique de l'Ouest. Ils se sont établis au Bénin, au Burkina Faso et au Niger, où une réduction substantielle des populations de foreurs de gousses a été observée sur les sites pilotes<sup>(2)</sup>. **Le troisième pilier est lié à l'utilisation efficiente et ciblée d'intrants** tels que des variétés résistantes/tolérantes et des pratiques culturales compatibles avec des engrais organiques et inorganiques, l'application de biopesticides et de pesticides synthétiques se faisant en dernier recours. **Notre paradigme est centré sur une gestion des ravageurs fondée sur la nature avec (i) un accès direct et en temps réel des agriculteurs aux outils TIC, leur donnant les moyens de prendre leurs propres décisions ; (ii) un contrôle écologique fondé sur la science avant tout et (iii) une intensification durable, respectueuse de l'environnement, afin d'augmenter la productivité.** Cette approche de gestion de la santé des plantes de nouvelle génération que nous proposons sera toutefois encore plus exigeante en connaissances que son précurseur (lutte intégrée contre les nuisibles basée sur les pesticides). Pour réussir sa mise en œuvre, un investissement important sera nécessaire pour renforcer les capacités et former les agriculteurs.

### Contacts

Manuele Tamò (IITA, CGIAR, Bénin), m.tamo@cgiar.org  
David Chikoye (IITA, CGIAR, Zambie), d.chikoye@cgiar.org

### Plus d'informations

(1) Bello-Bravo J., Tamò M., Dannon E.A., Pittendrigh B.R., 2018. An assessment of learning gains from educational animated videos versus traditional extension presentations among farmers in Benin. *Information Technology for Development*, 24: 224244. doi: 10.1080/02681102.2017.1298077

(2) Srinivasan R., Tamò M., Periasamy M., 2021. Emergence of *Maruca vitrata* as a major pest of food legumes and evolution of management practices in Asia and Africa. *Annual Review of Entomology*, 66: 141-161.

(3) Tamò M., Afouda L., Bandyopadhyay R., Bottenberg H., Cortada-Gonzales L., Murithi H., Ortega-Beltran A., Pittendrigh B., Sikirou R., Togola A., Wydra K.D., 2019. Identifying and managing plant health risks for key African crops: legumes. In Neuenschwander P. and Tamò M. (eds): *Critical issues in plant health: 50 years of research in African agriculture*. Burleigh Dodds Scientific Publishing, Cambridge: 259-294.



► **Gauche : le parasitoïde exotique** *Liragathis javana* (anciennement *Therophilus javanus*) *Bath et Gupta* (Hymenoptera : Braconidae), piquant une larve de foreur de gousses *Maruca vitrata* *Fabricius* (Lepidoptera : Crambidae) se nourrissant à l'intérieur d'une fleur de niébé. © D.A. Souna/IITA-Bénin



► **Droite : larve de troisième stade du parasitoïde** *Liragathis javana* sortant d'une larve parasitée du foreur *Maruca vitrata* (le cercle rouge indique le trou de sortie) et continuant à s'en nourrir en tant qu'ectoparasite. © D.A. Souna/IITA-Bénin

## De la régulation des processus naturels à la conception d'agroécosystèmes

### Solutions agroécologiques pour le Sud – l'exemple des plantes de service

Les agrosystèmes intensifs éliminent systématiquement certaines caractéristiques des écosystèmes naturels, notamment en réduisant de manière drastique la biodiversité et les interactions entre espèces par un travail du sol profond et fréquent, la suppression des espèces ligneuses, l'utilisation d'une gamme étroite de cultures à l'échelle de la parcelle et du paysage, etc. L'approche agroécologique consiste principalement à (ré)introduire et à gérer la biodiversité fonctionnelle, cultivée et associée au sein des agrosystèmes, afin

d'améliorer les services écosystémiques.

**La diversité des communautés présentes dans les agrosystèmes contribue probablement à assurer la fourniture d'un certain nombre de services écosystémiques<sup>(1,2)</sup>.** Par exemple, l'introduction d'une plante de service modifie la composition de la communauté végétale, favorisant ainsi le contrôle des adventices. Les plantes de service doivent satisfaire un ensemble de caractéristiques parfois contradictoires<sup>(3)</sup> (figure page suivante). Elles sont de plus en plus utilisées dans divers systèmes

de culture monospécifiques, comme les bananeraies et les vergers, pour contrôler les adventices (photo page suivante), limitant ainsi l'utilisation d'herbicides. En outre, l'introduction d'une plante de couverture modifie le fonctionnement global du système en termes de cycles de l'eau et des nutriments, ainsi que les interactions entre les communautés d'insectes et de micro-organismes. L'introduction d'une nouvelle ressource dans le système est un levier efficace de modification du réseau trophique.

Les plantes de service sont également utilisées avec des espèces de cultures annuelles via de nombreuses techniques, afin de remplir divers objectifs, à savoir la protection des plantes par des processus attractifs et répulsifs, ou encore la protection des sols. Par exemple, les plantes de service dans des systèmes à base de paillis peuvent contribuer à maintenir une couverture végétale permanente tout en limitant

le travail du sol. Cette pratique réduit l'érosion et améliore l'activité biologique du sol, contribuant ainsi à une gestion durable de la matière organique du sol. Les principes agroécologiques reposent sur des analyses du fonctionnement des écosystèmes naturels. À une échelle plus grande que celle de la parcelle, la mise en œuvre de ces principes dans les agrosystèmes nécessite une vision à

plusieurs niveaux d'organisation. **L'approche agroécologique doit également être intégrée dans des systèmes sociaux plus ou moins territorialisés, notamment les chaînes de valeur et, plus généralement, les systèmes alimentaires.**

**Contact**

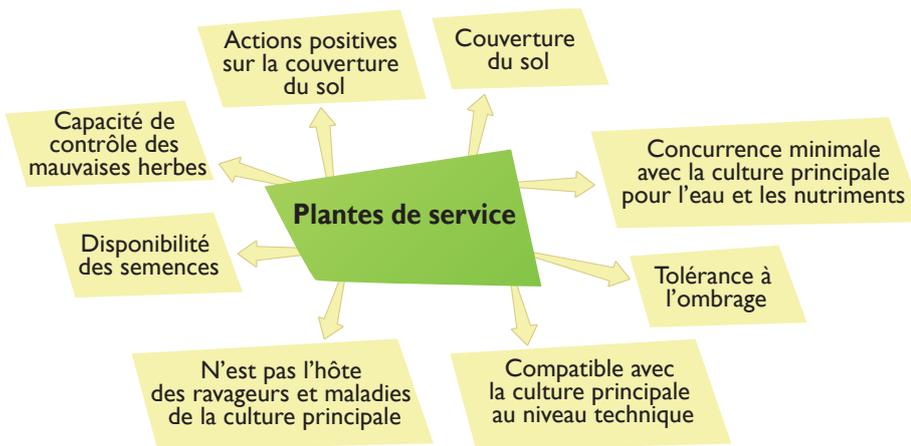
Éric Malézieux (Hortsys, Cirad, France), eric.malezieux@cirad.fr

**Plus d'informations**

- (1) Malézieux E., 2012. Designing cropping systems from nature. *Agronomy for Sustainable Development*, 32(1): 15-29. <http://dx.doi.org/10.1007/s13593-011-0027-z>
- (2) Malézieux E., Crozat Y., Dupraz C., Laurans M., Makowski D., Ozier Lafontaine H., Rapidel B., De Tourdonnet S., Valantin-Morison M., 2009. Mixing plant

species in cropping systems: concepts, tools and models. *A review. Agronomy for Sustainable Development*, 29(1): 43-62. <http://dx.doi.org/10.1051/agro:2007057>

(3) Malézieux E., Rapidel B., Goebel F.-R., Tixier P., 2019. From natural regulation processes to technical innovation, what agroecological solutions for the countries of the Global South? In Côte F.-X. et al. (eds): *The agroecological transition of agricultural systems in the Global South*. Ed. Quae, Versailles, France: 199-217. (Agricultures et défis du monde). [www.quae-open.com/produit/114/9782759230570/the-agroecological-transition-of-agricultural-systems-in-the-global-south](http://www.quae-open.com/produit/114/9782759230570/the-agroecological-transition-of-agricultural-systems-in-the-global-south)



▲ Plantes de couverture dans une plantation de Citrus, Réunion (France). © E. Malézieux

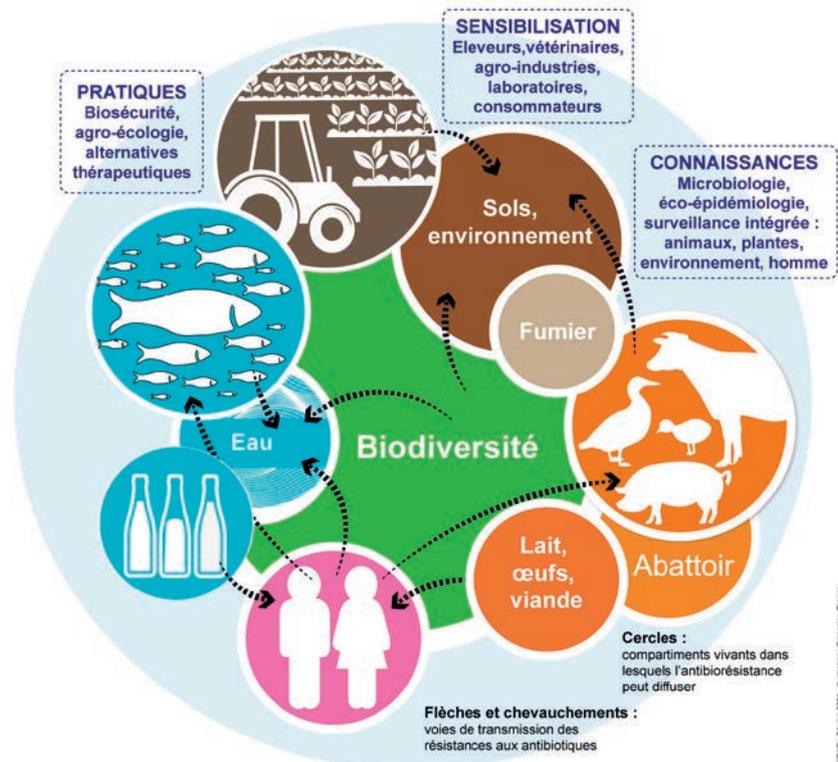
## Antibiotiques en élevage au Sud

*Réduire leur usage et limiter les risques sanitaires et socioéconomiques*

Les changements profonds des modes d'élevage depuis une cinquantaine d'années ont banalisé l'usage des antibiotiques en élevage et en aquaculture. Dans certains pays du Sud, en raison de la demande croissante en protéines animales et l'absence de réglementation adaptée, le volume d'antibiotiques utilisés continue d'augmenter, ce qui est à l'origine de l'émergence de résistances chez les bactéries. Celles-ci diffusent via les chaînes trophiques naturelles et les filières commerciales alimentaires (figure), d'une échelle locale à planétaire via la mobilité des personnes et le commerce, et représentent un danger pour la santé humaine, animale et les écosystèmes. Les organisations internationales et gouvernements appellent à la mise en place d'interventions pour réduire l'utilisation des antibiotiques en élevage. L'efficacité de ces actions repose sur la mise en place d'approches intégrées de la santé alliées aux principes de l'agroécologie.

*suiv.* ➔

► *Principales voies de diffusion de l'antibiorésistance en agriculture : recherche, actions et politiques publiques à mettre en œuvre.*



© CIRAD - Février 2011 - Illustration: Françoise Ouhès

Le Cirad met en œuvre un ensemble d'approches interdisciplinaires, mobilisant recherche qualitative et quantitative en Asie (Vietnam, Cambodge) et en Afrique (Mozambique, Afrique du sud, Sénégal) :

- **démarches participatives** visant à identifier des trajectoires d'évolution possible des pratiques d'élevage pour mieux prévenir les maladies animales et réduire le recours aux antibiotiques tout en les utilisant à bon escient et en limitant les effets négatifs sanitaires et socioéconomiques sur le niveau de vie des éleveurs, en particulier dans les régions les plus vulnérables ;
- **recherche sur les alternatives thérapeutiques et préventives** ;
- **conception et évaluation de systèmes de surveillance intégrés (one health)** pour détecter l'apparition de résistances et évaluer l'efficacité des mesures prises ;

- **étude de la circulation des résistances entre compartiments humain, animal et environnemental** ;
- **travaux sur les chaînes d'approvisionnement en antibiotiques et sur les cadres réglementaires et institutionnels de leur usage.**

Au Vietnam, par exemple, une analyse des acteurs et de la modélisation d'accompagnement a produit un cadre conceptuel et méthodologique de mise en œuvre du concept « one health » dans le domaine de la surveillance de l'antibiorésistance. Éleveurs et autres acteurs-clés sont associés aux processus de recherche et d'innovation pour accompagner la transition vers une utilisation prudente des antibiotiques.

#### Contacts

Christian Ducrot (Astre, INRAE, France), christian.ducrot@inrae.fr

Samira Sarter (Isem, Cirad, France), samira.sarter@cirad.fr

François Roger (DGD-RS, Cirad, Vietnam), francois.roger@cirad.fr

#### Autres auteurs

Marion Bordier, Flavie Goutard, Sophie Molia, Alexis Delabouglise, Marisa Peyre, Étienne Loire, Éric Cardinale (Astre, France)

Muriel Figuié (Moisa, France)

Adrien Rieux (PVBMT, France)

#### Plus d'informations

Roger F., Ducrot C., 2017. Antibiotiques en agriculture : réduire leur usage tout en limitant les risques sanitaires et socioéconomiques au Sud. *Perspective*, 39: 1-4. <https://doi.org/10.18167/agritrop/00041>

## Contrôle des mouches hématophages en réduisant l'usage des insecticides

### Développement d'écrans et de pièges attractifs

Les mouches hématophages (Tabanides, *Stomoxys* spp., mouches tsé-tsé) sont des fléaux de l'homme et des animaux, du fait de leur piqûre et de la transmission de maladies parasitaires (trypanosomoses, besnoitiose), bactériennes ou virales (fièvre catarrhale ovine, West Nile, peste porcine africaine). Leur contrôle se fait classiquement par l'application massive d'insecticides (sprays, pour-on) qui sont peu efficaces et pénètrent dans les denrées alimentaires et diffusent dans l'environnement. Pour réduire ces pollutions, le programme de recherche FlyScreen, mené par le Cirad, avec les universités de Montpellier et de

Bangkok (Kasetsart), l'École nationale vétérinaire de Toulouse (ENVT), et la société AtoZ, a développé des écrans en polyéthylène de couleur bleu ou bleu et blancs (photos A et B), spécifiquement attractifs pour l'ensemble des mouches hématophages (C). Ces FlyScreens, imprégnés de pyréthrinolide de façon innovante (brevet déposé) permettent la destruction ciblée d'insectes nuisibles sans diffusion d'insecticides dans l'environnement. L'efficacité du contrôle par la « méthode des écrans multiples » (une vingtaine d'écrans par élevage) (photo A) a été testée. Les FlyScreens seront utilisés en Afrique pour le contrôle des glossines et en Asie

pour celui des autres mouches hématophages. Cette avancée majeure ne peut toutefois être appliquée en Europe et en Amérique, du fait de la chimiorésistance largement répandue des mouches aux pyréthrinolides. Le nouveau programme BioFlyTrap, inspiré de FlyScreen, mis en place par le Cirad, l'IRD, INRAE, l'ENVT et un partenaire privé, vise au développement de pièges simples, légers, sans insecticides, biodégradables et peu coûteux, qui seront utilisés dans les élevages par la « méthode des pièges multiples ». Un projet prometteur pour un contrôle agro-éco efficace sans insecticides ni plastiques pétroliers.



▲ **Photo A. Méthode des écrans multiples : installation de 20 écrans attractifs FlyScreens, pour le contrôle des mouches hématophages.** © M. Desquesnes

▲ **Photo B. Écrans en polyéthylène imprégnés de deltaméthrine utilisés en Thaïlande.** © M. Desquesnes

▲ **Photo C. Un FlyScreen, ici, couvert d'un film collant qui révèle sa très forte attractivité pour les mouches hématophages (ici des stomoxes, à La Réunion).** © Y. Grimaud

#### Contacts

Marc Desquesnes (InterTryp, Cirad, France), marc.desquesnes@cirad.fr

Philippe Solano (InterTryp, IRD, France), philippe.solano@ird.fr

Philippe Jacquet (IHAP, INRAE, France), p.jacquet@envt.fr

#### Plus d'informations

• Onju S., Thaisungnoen K., Masmeatathip R., Duvallat G., Desquesnes M., 2020. Comparison of blue cotton and blue polyester fabrics to attract hematophagous flies in cattle farms in Thailand. *J. Vector Ecol.*, 45(2): 262-268. doi: 10.1111/jvec.12397. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33207049/>

• Desquesnes M., Bouhsira E., Chalermwong P., Drosne L., Duvallat G., Franc M., Gimonneau G., Grimaud Y., Guillet P., Himeidan Y., Jacquet P., Jittapalpong S., Karanja W., Liénard E., Onju S., Ouma J., Rayaisse J.-B., Masmeatathip R., Salou E., Shah V., Shukri S., Thaisungnoen K., 2019. The multi targets method (MTM): an innovative strategy for the control of biting flies as vectors. *Ecology and Control of Vector-borne Diseases (ECVD)*, 6. [www.wageningenacademic.com/doi/epdf/10.3920/978-90-8686-895-7\\_5](http://www.wageningenacademic.com/doi/epdf/10.3920/978-90-8686-895-7_5)

• Programme de recherche FlyScreen :

<https://umr-intertryp.cirad.fr/recherche-et-impacts/projets/flyscreen>



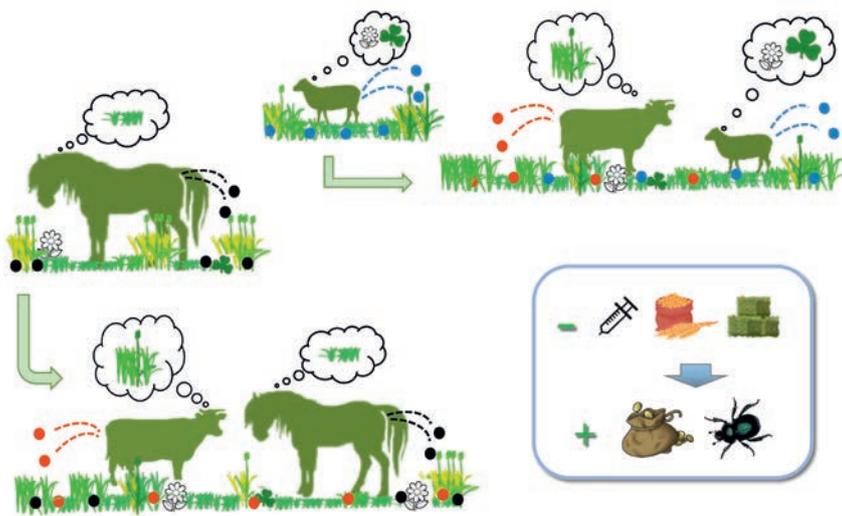
## La mixité d'espèces, un levier pour la transition agroécologique des systèmes herbagers

L'agroécologie, appliquée aux productions animales, postule qu'il serait possible d'utiliser la diversité animale et végétale au sein des systèmes d'élevage pour diminuer le recours aux intrants (médicaments et concentrés). Dans les systèmes herbagers, on attend une meilleure valorisation de l'herbe en pâturage mixte du fait de la complémentarité des choix alimentaires des bovins, ovins et des chevaux. Les bovins, et plus encore les chevaux, créent des zones d'herbe rase dans le couvert et ont un rôle de facilitation pour l'autre espèce qui bénéficie ainsi de repousses de qualité. Par ailleurs, le pâturage mixte diluerait la charge parasitaire des animaux en raison de

la spécificité de nombre de strongles digestifs à leur hôte : durant la phase du cycle où la larve infestante est dans le couvert, elle peut être avalée par un animal de l'autre espèce, ce qui interrompt son développement. Une meilleure valorisation de l'herbe est citée comme un atout majeur des systèmes mixtes par 84 % des éleveurs bovins-ovins enquêtés en Auvergne (France) durant le projet new-DEAL\*. Un modèle d'optimisation bioéconomique estime à 30 % la réduction de l'utilisation des aliments concentrés. Dans les systèmes bovins allaitants-chevaux de selle, nous avons observé une augmentation de l'ordre de 15 % du chargement, une nette réduction des fourrages

achetés et un moindre recours au gyrobroyage comparativement aux systèmes équins spécialisés. L'excrétion parasitaire d'agnelles pâturant avec des génisses est réduite de moitié par rapport à un pâturage monospécifique, et leur croissance est supérieure de 40 g par jour. L'excrétion parasitaire de jeunes chevaux conduits avec des bovins est également réduite de moitié. Une diminution de la fréquence des traitements anthelminthiques réduirait les charges variables des exploitations et bénéficierait aux insectes coprophages. Nos travaux récents visent à définir les modes de conduite du pâturage (ratio d'espèces, etc.) permettant d'optimiser les attendus de la mixité d'espèces.

\* Projet « Diversité de l'élevage en Auvergne : un levier de durabilité pour la transition agroécologique » (Programme de Recherche pour et sur le développement, PSDR).



### Contacts

Bertrand Dumont (Herbivores, INRAE, France),  
bertrand.dumont@inrae.fr

Frédéric Joly (Herbivores, INRAE, France),  
frederic.joly@inrae.fr

Géraldine Fleurance (Herbivores INRAE, IFCE, France),  
geraldine.fleurance@inrae.fr

### Plus d'informations

- Dumont B., Fortun-Lamothe L., Jouven M., Thomas M., Tichit M., 2013. Prospects for agroecology and industrial ecology for animal production in the 21<sup>st</sup> century. *Animal*, 7: 1028-1043. <https://doi.org/10.1017/S1751731112002418>
- Forteau L., Dumont B., Sallé G., Bigot G., Fleurance G., 2020. Horses grazing with cattle have reduced strongyle egg count due to the dilution effect and increased reliance on macrocyclic lactones in mixed farms. *Animal*, 14: 1076-1082.



## Intensification écologique pour l'aquaculture

L'aquaculture est une des productions agricoles avec le plus fort taux de croissance. En 2030, elle devra fournir plus de 60 % des poissons destinés à la consommation humaine. Cet accroissement de la production induit la consommation grandissante d'intrants, et les impacts environnementaux et la dégradation des effluents d'élevage qui en découlent, soulignent la nécessité de concevoir de nouveaux systèmes de production aquacoles. Dans ce contexte, l'intensification écologique des systèmes aquacoles propose l'usage des processus et des fonctions écologiques du système pour augmenter la production, réduire les impacts et valoriser les services écosystémiques de l'aquaculture. L'enjeu est de promouvoir des systèmes basés sur la réduction ou l'élimination

des intrants, comme les aliments formulés, et sur la valorisation des extrants en s'appuyant sur la productivité naturelle et le développement des services écosystémiques associés.

Les pratiques aquacoles pour l'intensification écologique sont extrêmement diversifiées, mais relèvent souvent d'un processus d'intégration au sein de l'écosystème ou dans le territoire. Au Brésil, un scénario d'intensification écologique qui incluait le lagunage avec des macrophytes dans des systèmes intégrés dits Mapivi (porcs/polyculture de tilapia ou carpe) a été étudié. **L'amélioration de la qualité des effluents et une plus grande acceptabilité de ce système ont été obtenues et ces mesures ont été intégrées dans la**

**référence nationale pour la pisciculture de l'État de Santa Catarina.** En Indonésie, l'association *Pangasius/gourami géant/Lemna* en étang a été testée. **Ce scénario, fondé sur le recyclage des nutriments, la gestion de la qualité de l'eau et la diversification des espèces produites a démontré une meilleure performance en matière d'eutrophisation et d'acidification calculée par l'analyse de cycle de vie.** Toutefois, l'adaptation des connaissances scientifiques à la diversité des exploitations aquacoles et la création d'un environnement social et culturel favorable à l'appropriation des innovations demeurent des challenges de l'intensification écologique pour l'aquaculture.

### Contacts

Domenico Caruso (Isem, IRD, France),  
domenico.caruso@ird.fr

Jean-Michel Mortillaro (Isem, Cirad, France),  
jean-michel.mortillaro@cirad.fr

Maria J. Darias (Marbec, IRD, France), maria.darias@ird.fr  
Joël Aubin (SAS, INRAE, France), joel.aubin@inrae.fr

### Plus d'informations

Aubin J., et al., 2017 Implementing ecological intensification in fish farming: definition and principles from contrasting experiences. *Reviews in Aquaculture*, 11(1): 149-167.  
<https://doi.org/10.1111/raq.12231>

◀ **Écosystème agro-aquacole à Java Ouest, Indonésie.**  
© D. Caruso/IRD



# Chapitre 3

## Reconcevoir des agroécosystèmes fondés sur un ensemble de processus écologiques de la ferme au paysage

Ce chapitre s'intéresse à la reconception, la mise en place et la gestion d'agroécosystèmes différents des systèmes actuels. Ce processus de reconception découle d'une nécessaire transformation (moins dépendance aux pesticides, utilisation plus efficiente de l'eau, travail décent et amélioration du bien-être, adaptation au changement climatique, qualité des paysages et préservation de la biodiversité, etc.). Il procède d'une véritable rupture avec le passé et engage un changement à long terme. Ce processus s'appuie sur certains principes agroécologiques : diversification des variétés/rares, rotations culturales, complémentarité élevage-agriculture, réintroduction de l'arbre dans les exploitations et les paysages, considération des systèmes agroforestiers dans leur multifonctionnalité. Si on vise souvent au départ un objectif spécifique, on est amené rapidement à prendre en compte toutes les fonctions et tous les services agro-écosystémiques, ainsi que leur durabilité et leur résilience en réponse à la nature très variable des contraintes externes (climat, prix, etc.). Ce processus de reconception peut prendre place dans une exploitation agricole ou dans un paysage, dans le cadre d'une gestion collective (bassin versant, petite zone de gestion) ou d'un projet territorial plus important impliquant d'autres acteurs que les agriculteurs (autorités publiques, associations de protection de l'environnement ou du tourisme). Ce chapitre porte sur cinq grands thèmes. Les quatre premiers abordent la reconception des agroécosystèmes selon un objectif spécifique, tandis que le dernier thème invite à prendre en compte l'ensemble des fonctions et services agro-écosystémiques.

**Améliorer les interactions biologiques** : la prise de conscience de l'importance de la diversité biologique et des interactions biotiques dans les agroécosystèmes conduit à développer des stratégies basées d'une part sur l'introduction d'une nouvelle diversité biologique et, d'autre part, sur l'analyse de ses effets dans la résistance et le contrôle des maladies ainsi que dans la pollinisation. Une revue bibliographique met en évidence les interactions entre les pratiques de protection des cultures et les zoonoses virales dans le cadre d'une vision « *one health* » (Ratnadass & Deguine). Des recherches menées pour reconcevoir des agroécosystèmes bananiers aux Antilles s'intéressent aux traits fonctionnels des plantes, dans le but de sélectionner des plantes dites « de service » et de les associer comme plantes de couverture multifonctionnelles pour, *in fine*, contrôler les adventices et optimiser la fourniture de

ressources azotées (Dorel *et al.*). Une démarche d'ingénierie écologique promeut la lutte biologique pour gérer durablement les ravageurs en améliorant la survie et l'action des ennemis naturels par l'augmentation de la diversité florale des paysages rizières (Zaidi *et al.*). À plus grande échelle, les stratégies FAP (*farming with alternative pollinators*) utilisent des espèces végétales commercialisables, composées (pour les petites surfaces) d'épices, de graines oléagineuses ou d'autres légumes qui créent des habitats nouveaux pour attirer et maintenir une abondance et une diversité importantes de pollinisateurs sauvages et d'ennemis naturels au fil du temps (Christmann).

**Renforcer l'agroforesterie et ses services écosystémiques** : les systèmes agroforestiers - combinant espèces ligneuses et cultures annuelles - sont très diversifiés, depuis les monocultures traditionnelles d'arbres (café, cacao, hévéa, vergers, etc.), pour lesquelles l'enjeu est de renforcer la diversité au sein et entre les espèces afin d'assurer leur résilience et leur durabilité, jusqu'aux agroécosystèmes plurispécifiques, notamment les systèmes bocagers (arbres-cultures-élevage), en passant par les parcs naturels agroforestiers, qui doivent être préservés face aux différentes pressions qui s'exercent sur eux. Les enjeux et les reconceptions envisagées sont traités différemment selon les systèmes. Dans les systèmes de culture traditionnels, les recherches s'intéressent aux traits fonctionnels des systèmes agroforestiers, notamment pour mieux contrôler les ravageurs, mais aussi pour considérer la diversité des fonctions et services écosystémiques de ces systèmes (Avelino *et al.* ; Penot). L'idée est d'optimiser l'utilisation des ressources naturelles (une unité de surface agroforestière produit plus que la somme des cultures en peuplements purs) et de générer des synergies fonctionnelles (Winowiecki *et al.* ; Rodenburg *et al.*). Un exemple sur les systèmes cacaoyers illustre les effets de l'introduction d'un mélange d'arbres fruitiers et forestiers choisis pour leurs différents avantages (rendement du cacao, lutte biologique contre les ravageurs, diversité des produits, etc.) (Jagoret). La contribution de ces systèmes à l'atténuation du changement climatique via la séquestration du carbone dans le bois et le sol - comme l'illustre l'exemple sur les haies et les bocages - doit être quantifiée précisément à différentes échelles spatio-temporelles (Viaud et Thenail). La gestion de l'eau est également importante, comme le montre l'exemple des systèmes de cultures intercalaires d'arbres fruitiers mis en œuvre pour gérer des ressources en eau limitées dans les régions méditerranéennes

▼ Restauration d'un système de production agrosylvopastoral de la communauté d'Ouled Sbaihia située dans une zone semi-aride en Tunisie. © Slim Slim



et arides (Wery *et al.*). Concernant les parcs naturels, l'objectif est de raviver l'intérêt porté aux produits provenant des arbres, conformément aux priorités socio-économiques, tout en développant les chaînes de valeur pour ces produits forestiers et en établissant de nouvelles règles de gouvernance (Cardinael ; Seghieri *et al.*).

**Renforcer la complémentarité culture-élevage** : le statut de l'élevage est interrogé dans ce processus de reconception. En effet, les animaux valorisent certains milieux fortement contraints (zones sèches, montagnes, etc.) et permettent de boucler les cycles biogéochimiques en fournissant certaines ressources, en restituant des nutriments au sol et en stimulant l'activité biologique du sol (Louhaichi et Hassan ; Rekić *et al.*). L'intégration élevage-culture peut également constituer une option d'adaptation dans un contexte de changement climatique (produits et ressources alimentaires supplémentaires) mais aussi une contrainte, notamment pour approvisionner le bétail en ressources alimentaires y compris lors de sécheresses (stocks, nouvelles ressources) (Novak *et al.*). La gestion de l'eau et de l'état hydrique du sol constitue un point d'intérêt commun aux cultures et aux élevages. Quelques exemples illustrent la nécessité de gérer l'eau dans les systèmes agroforestiers et agropastoraux. La conversion des systèmes mixtes culture-élevage en systèmes d'agriculture biologique peut réduire la vulnérabilité des exploitations grâce à une gestion plus autonome des nutriments (Martin). Les systèmes de production mixtes riz-poisson utilisent aussi cette vision de circularité, mais à l'échelle de la parcelle (Freed *et al.*).

**Prendre en compte l'échelle du paysage** : les initiatives de reconception des agroécosystèmes ont souvent intérêt à considérer l'échelle du paysage, notamment la complémentarité des zones de production et des zones interstitielles qui peuvent avoir un rôle régulateur (habitat spécifique, refuge, etc.), y compris la couverture d'une large palette de milieux (sols variés, accès à la ressource en eau dépendant des zones du bassin versant) (Petit-Michaut ; Omondi *et al.*). Au-delà de l'adaptation plus étroite des agroécosystèmes à leur environnement, cette échelle vise aussi à mieux intégrer les synergies et complémentarités possibles entre les biodiversités cultivée et naturelle, entre les agriculteurs et les acteurs de la gestion du territoire (Yadav *et al.*). Le territoire est un socio-écosystème dans lequel co-évoluent des environnements, des activités et des sociétés ; les services écosystémiques tels que les aménités culturelles, mémorielles et historiques y sont particulièrement liés.

Ces différents aspects sont illustrés. L'échelle du paysage peut contribuer à renforcer les services de régulation contre les ravageurs et maladies, et il faut alors considérer les espaces semi-naturels et leurs fonctions (Deconchat *et al.*). La dimension du paysage est particulièrement importante dans les systèmes agropastoraux qui utilisent différents espaces en fonction des saisons, des précipitations et des conditions d'humidité du sol (Mekuria et McCartney ; Romero *et al.* ; Strohmeier *et al.*).

**Renforcer la résilience par les services écosystémiques** : la reconception remet en question l'ensemble des fonctions et services agro-écosystémiques. Il existe de nombreux exemples de démarches de conception participative – ou « innovation ouverte » - utilisées pour identifier des solutions innovantes appropriables et reposant sur les connaissances académiques et de terrain, afin de définir des scénarios de transition des agroécosystèmes (Scopel ; Saj et Demenois ; Sourisseau *et al.*). Des cadres conceptuels ont été formalisés pour rendre compte à la fois des fonctions économiques des chaînes de valeur et des services écosystémiques (Rakotovoao *et al.* ; Lescouret *et al.*). De nombreux exemples prennent place en Inde, en Afrique subsaharienne (Afrique de l'Ouest, Madagascar), en France, etc. Ils s'intéressent à différents systèmes illustrant la façon de comptabiliser les émissions de GES, la séquestration du carbone, la conservation des fonctions du sol, la réduction de la consommation d'énergie ou de l'eau (Ruiz et Sekhar), etc., et ce dans le but d'atténuer les fragilités de ces systèmes. L'agroécologie constitue un levier d'adaptation et d'atténuation du changement climatique (Kebede *et al.*). Il est également essentiel de prendre en compte le travail agricole et le rôle des acteurs, notamment des femmes (Crossland *et al.*), afin d'aborder, voire de bouleverser, des pratiques bien établies.

**Kwesi Atta-Krah** (IITA, CGIAR)

**Chantal Gascuel** (Direction scientifique pour l'environnement, INRAE)

**Etienne Hainzelin** (Direction générale, Cirad)

**Marcela Quintero** (Alliance of Bioversity International and CIAT, CGIAR)



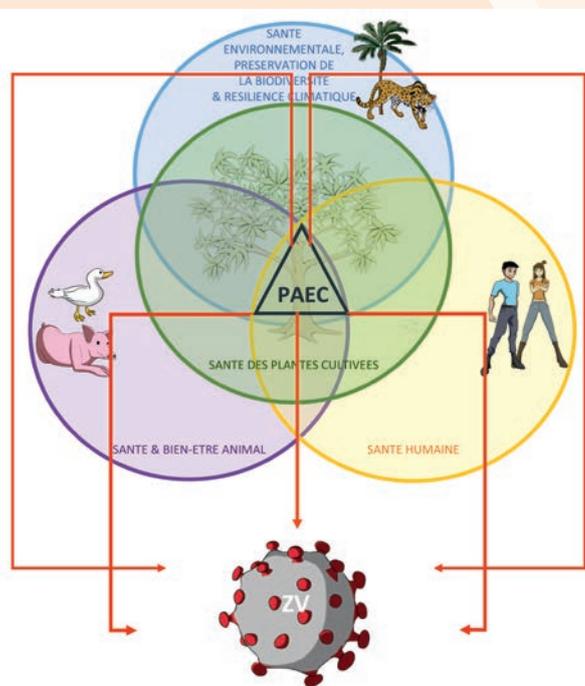
## Améliorer les interactions biologiques

### L'agroécologie au service de la protection des cultures et de la lutte contre les zoonoses

Les récentes épidémies zoonotiques virales ont été partiellement attribuées à l'impact négatif des activités humaines sur la biodiversité des écosystèmes. Une analyse de la littérature scientifique sur les interactions entre pratiques de protection des cultures (PC) et zoonoses virales (ZV) s'est appuyée sur plus de 200 références. Elle souligne des interactions avérées

ou potentielles entre ZV et pratiques de PC, fondées, pour ces dernières, soit sur l'amélioration de l'efficacité (pratiques conventionnelles avec des insecticides et rodenticides agrochimiques), soit sur la substitution (méthodes physiques/mécaniques ou à base de biopesticides), soit sur la reconception (lutte biologique par conservation et gestion des habitats, y compris certaines formes d'intégration agriculture-élevage). Les pratiques de PC couvertes par cette revue bibliographique ciblent surtout des ravageurs vertébrés (rongeurs et chauves-souris) et des insectes, mais aussi des microorganismes pathogènes de plantes, y compris des plantes adventives. Les méthodes fondées sur l'amélioration de l'efficacité et sur la substitution (pour partie), ainsi que certaines pratiques d'intégration agriculture-élevage, ont montré des effets

négatifs, mitigés ou contradictoires en termes d'impact sur les risques de ZV. À l'inverse, **les pratiques fondées sur la reconception, relevant de la protection agroécologique des cultures (PAEC), résultent généralement en la prévention des ZV, via différents processus** (figure). Plusieurs exemples concernent des systèmes de culture étudiés par des unités de recherche de la communauté scientifique d'Occitanie (France), e.g. l'intégration riziculture-élevage de canards, l'encouragement des prédateurs vertébrés en plantations de palmiers à huile, ou des fourmis tisserandes en vergers d'arbres fruitiers. L'analyse bibliographique montre aussi que la PAEC, tout en contribuant à intégrer la santé des plantes au concept élargi « une seule santé », aborde également des défis globaux majeurs, au vu de ses impacts positifs en termes d'amélioration de la résilience climatique, du bien-être animal, et de la conservation de la biodiversité (figure).



◀ *Protection agroécologique des cultures (PAEC) (triangle central) : réduction directe ou indirecte (flèches rouges) des risques zoonotiques viraux (ZV), contribution au concept « une seule santé » étendu aux quatre types de santé (cercles), y compris les enjeux globaux de résilience climatique, de conservation de la biodiversité et de bien-être animal.*

*Adapté de Ratnadass et Deguine (2021).*

#### Contacts

Alain Ratnadass (HortSys, Cirad, France),  
alain.ratnadass@cirad.fr

Jean-Philippe Deguine (PVBMT, Cirad, France),  
jean-philippe.deguine@cirad.fr

#### Plus d'informations

Ratnadass A., Deguine J.P., 2021. Crop protection practices and viral zoonotic risks within a One Health framework. *Science of the Total Environment*, 774. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145172>

## La biodiversification par les plantes de service

### Un moteur de la transition agroécologique dans les agrosystèmes bananiers

Dans les années 1980, les agrosystèmes bananiers des Antilles reposaient sur des systèmes monoculturels intensifs, peu diversifiés et fortement utilisateurs de pesticides de synthèse (nématocides et insecticides en particulier) et d'engrais minéraux. L'exigence de transition agroécologique de ces systèmes s'est d'abord traduite par des stratégies culturales à visée prophylactique reposant sur l'utilisation de matériels de plantation sains (vitroplants) couplée à des jachères et à des rotations culturales assainissantes vis-à-vis des bioagresseurs d'origine tellurique. La biodiversité végétale initialement introduite dans ces systèmes reposait sur des cultures ou des plantes herbacées sélectionnées au départ pour leur aptitude à fournir un service de contrôle du nématode endoparasite *Radopholus similis* du fait de leur statut de non-hôte.



▲ Association bananiers-crotalaires, © R. Domergue

suiv.

Par la suite, une approche générique a été élaborée, basée sur la prise en compte des traits fonctionnels de ces plantes, c'est-à-dire de leurs caractéristiques individuelles liées à leur fonctionnement dans l'agrosystème. L'objectif était de sélectionner ces plantes dites « de service » pour une gamme supplémentaire et élargie de services écosystémiques, et de les combiner dans des couverts multifonctionnels pour le contrôle des adventices, l'optimisation de

la ressource azotée, l'amélioration de la structure des sols et la lutte contre l'érosion, etc. **Cette trajectoire d'évolution oriente les systèmes bananiers des Antilles vers des agrosystèmes plurispécifiques combinant dans le temps et dans l'espace des espèces végétales aux traits complémentaires.** Enrichis de cette biodiversité fonctionnelle choisie, ces systèmes bananiers s'orientent de plus en plus vers l'agriculture biologique,

l'agriculture de conservation et l'agroforesterie où une complémentarité fonctionnelle avec les arbres est recherchée. Cette transition s'opère dans un cadre partenarial impliquant les groupements de producteurs et leurs services techniques en charge de la R&D. Elle pourra également concerner de manière contextualisée les pays du Sud en quête de durabilité pour leurs agrosystèmes bananiers.



▲ Association bananiers-Desmodium ovalifolium-Arachis repens. © H. Tran Quoc/Geco

#### Contacts

Marc Dorel (Geco, Cirad, France), marc.dorel@cirad.fr

Gaëlle Damour (Geco, Cirad, France), gaelle.damour@cirad.fr

Jean-Michel Risède (Geco, Cirad, France), jean-michel.risede@cirad.fr

#### Plus d'informations

• Damour G., Dorel M., Tran Quoc H., Meynard C., Risède J.M., 2014. A trait-based characterization of cover plants to assess their potential to provide a set of ecological services in banana cropping systems. *European Journal of Agronomy*, 52: 218-228.

• Risède J.M., Achard R., Brat P., Chabrier C., Damour G., Guillermet C., De Lapeyre de Bellaire L., Loeillet D., Lakhia S., Meynard C., Tixier P., Tran Quoc H., Salmon F.,

Côte F.X., Dorel M., 2019. The agroecological transition of Cavendish banana cropping systems in the French West Indies. In Côte F.-X. et al. (eds), *The agroecological transition of agricultural systems in the Global South*. Ed. Quae, Versailles: 107-126. *Agricultures et défis du monde*.

• X International Symposium on Banana: ISHS-ProMusa Symposium on agroecological approaches to promote innovative banana production systems (octobre 2016) : [www.ishs.org/ishs-book/1196](http://www.ishs.org/ishs-book/1196)

## L'ingénierie écologique pour une gestion durable des ravageurs dans les systèmes rizicoles



▲ Modification des habitats afin de conserver les ennemis naturels dans les écosystèmes rizicoles. © Chitra Shanker/IIRR, Hyderabad Inde

L'ingénierie écologique est une approche de gestion des habitats visant à fournir un abri et des aliments aux agents naturels de lutte contre les ravageurs, tout en favorisant la biodiversité et la complexité structurale de l'agroécosystème. L'ingénierie écologique induit des modifications contribuant à améliorer la lutte biologique pour une gestion durable des ravageurs comme, par exemple, la gestion des habitats pour favoriser la survie et l'action des ennemis naturels, grâce à une plus grande diversité florale des diguettes des rizières. Contrairement à d'autres angiospermes, le riz manque de fleurs et de nectar pour attirer les ennemis naturels. **L'introduction de plantes à fleurs/nectarifères sur les diguettes des rizières peut garantir toute l'année des ressources aux ennemis naturels.** Il a été ainsi montré que les plantes de bordure augmente le parasitisme des œufs de la chenille mineuse de la tige et de la cicadelle<sup>(1,2)</sup>.

Les fleurs de cinq espèces végétales – haricot mungo (*Vigna radiata*), rose d'Inde (*Tagetes erecta*), chanvre indien (*Crotalaria juncea*), niébé (*Vigna unguiculata*) et gombo (*Abelmoschus esculentus*) – ont été testées, par comparaison à un témoin, quant à leur efficacité à attirer la punaise miride (*Cyrtorhinus lividipennis*) et les coccinelles prédatrices (*Micraspis discolor*, *Harmonia octomaculata* et *Coccinella transversalis*) dans un olfactomètre à six bras. Il s'avère que *C. lividipennis* est très attiré par le chanvre indien, suivi du niébé, de la rose d'Inde et du gombo. Les trois coccinelles prédatrices sont plus attirées par le niébé, suivi du gombo et du haricot mungo<sup>(3)</sup>. Les différents parasitoïdes présents dans les écosystèmes rizicoles sont *Oligosita* sp., *Anagrus* sp., *Dryinid* sp., *Charops* sp., *Tetrastichus shoenobii*, *Xanthopimpla* sp. et *Gryon* sp. **L'abondance des ennemis naturels, notamment prédateurs et parasitoïdes, et le taux de parasitisme, augmente dans les parcelles gérées par l'ingénierie écologique par rapport aux parcelles témoins.** Entre

2017 et 2020, des interventions de lutte contre les ravageurs reposant sur l'ingénierie écologique ont été menées dans différentes zones agroclimatiques de l'État d'Odisha en Inde. Les effets composites de ces interventions d'ingénierie écologique doivent maintenant être analysés sur l'ensemble des systèmes de culture. La mise à l'échelle de telles interventions pourrait améliorer la productivité et la rentabilité des agriculteurs, en augmentant leurs revenus et leurs moyens de subsistance, tout en contribuant à restaurer le fonctionnement des agroécosystèmes, à réduire les infestations de ravageurs et améliorer la protection de l'environnement.

#### Contacts

Najam Waris Zaidi (IRRI, CGIAR, Inde), n.zaidi@irri.org

Sunil Kumar (IRRI, CGIAR, Inde), sunil.kumarm@irri.org

Chitra Shanker (Institut indien de recherche sur le riz, IIRR, Inde), chitrashanker@gmail.com

#### Autres auteurs

Virender Kumar, Sudhanshu Singh et Jon Hellin (IRRI, CGIAR, Philippines, Inde et Philippines respectivement)

#### Plus d'informations

(1) Chitra S., Amudhan S., Lydia Ch., Sampathkumar M., Gururaj K., 2012. Effect of flowering plants on longevity and fecundity of the parasitoids of the Green Leafhopper, *Nephotettix virescens* on rice. In Gururaj K. et al. (eds.): *International conference on plant health management for food security: abstracts of the international conference, held at DRR, Hyderabad, India, Abst. N° OP7: 21-22.*

(2) Chitra S., Sampath Kumar M., Jhansirani B., Lydia Ch., Amudhan S., Gururaj K., 2015. Impact of ecological engineering on egg parasitisation of the yellow stem borer, *Scirpophaga incertulus* (Walker) in rice in the National meeting on New/safer molecules and biocontrol technologies for integrated pest management in crops, Bengaluru, Feb. 23, 2015.

(3) Vijayaraghavendra R., Vijaya Lakshmi K., Chitra S., Malathi S., Jagadeeshwar R., Damodar Raju C., 2019. Olfactory response of insect predators of rice brown plant hopper (*Nilaparvata lugens* (Stal.)) to flower volatiles. *Journal of Entomology and zoology studies*, 7(1): 1095-1099.

## Cultiver avec des pollinisateurs sauvages augmente la productivité par le maintien d'insectes bénéfiques - Une stratégie pour la transformation écologique de l'agriculture dans les pays à revenu faible et intermédiaire

L'agriculture est la menace la plus importante pour les pollinisateurs, alors que 75 % des cultures vivrières, 87 % des plantes à fleurs et tous les services écosystémiques fournis par ces plantes à fleurs, dépendent des pollinisateurs<sup>(1)</sup>. Leur disparition peut ainsi entraîner une spirale de dégradation et d'appauvrissement interdépendantes<sup>(1)</sup>. Alors que l'Europe investit des milliards pour récompenser les agriculteurs qui ensemencent des bandes de fleurs sauvages afin de protéger les pollinisateurs, les pays à revenus faibles ou intermédiaires ne peuvent pas se permettre de tels systèmes de compensation<sup>(2,3)</sup>. Le programme « Cultiver avec des pollinisateurs sauvages » (FAP pour *Farming with Alternative Pollinators*) a été mis au point pour répondre à ce problème<sup>(2,3)</sup>. **Le FAP permet d'éviter les coûts d'opportunité dus aux bandes de fleurs sauvages en utilisant uniquement des plantes commercialisables qui améliorent les habitats (MHEP pour *marketable habitat enhancement plants*) et des matériaux de nidification peu coûteux.** Les

petites surfaces de plantes à épices, d'oléagineux ou d'autres légumes, attirent et maintiennent une abondance et une diversité plus élevées de pollinisateurs sauvages et d'ennemis naturels sur une longue période. Elles augmentent sensiblement la productivité de la culture principale et réduisent l'abondance des ravageurs, ce qui minimise la nécessité d'intervenir avec des produits chimiques<sup>(2,3,4)</sup>. Les agriculteurs obtiennent ainsi un revenu nettement plus élevé issu de la culture principale et un revenu supplémentaire des MHEP<sup>(2,3)</sup>. Les MHEP font office de tampon contre la perte de revenus si la culture principale est attaquée par des ravageurs ou des maladies<sup>(2,3)</sup>. Au lieu de recourir à des intrants peu respectueux de l'environnement, le FAP utilise deux services écosystémiques contribuant à l'intensification agroécologique, à savoir la pollinisation et la lutte contre les ravageurs. Le FAP augmente considérablement la production végétale par unité de surface et contribue ainsi à la sécurité alimentaire (ODD 2), tout en luttant contre la pauvreté (ODD 1) et en favorisant

la santé et le bien-être des hommes grâce à la réduction des besoins en produits chimiques (ODD 3)<sup>(4)</sup>. Une production plus élevée par unité de surface réduit le besoin d'expansion des terres agricoles. L'intensification agroécologique des parcelles cultivées et une moindre expansion des zones agricoles sont nécessaires pour conserver la biodiversité. Dans les zones sèches subissant un changement climatique rapide - comme dans la région du MENA – le FAP est encore plus essentiel qu'ailleurs car (i) 87 % des plantes à fleurs ont besoin d'une pollinisation croisée pour s'adapter au changement climatique (ODD 13, 15)<sup>(4)</sup>, et (ii) la plupart des cultures dépendant des pollinisateurs génèrent des revenus plus élevés par m<sup>3</sup> que les cultures indépendantes<sup>(4)</sup>. En outre, les paysages avec des champs fleuris du FAP sont attractifs pour les loisirs, de sorte que l'adoption du FAP peut faire bénéficier les communautés rurales de revenus liés à l'écotourisme (ODD 1)<sup>(4)</sup>.

#### Contact

Stefanie Christmann (ICARDA, CGIAR, Maroc), s.christmann@cgiar.org

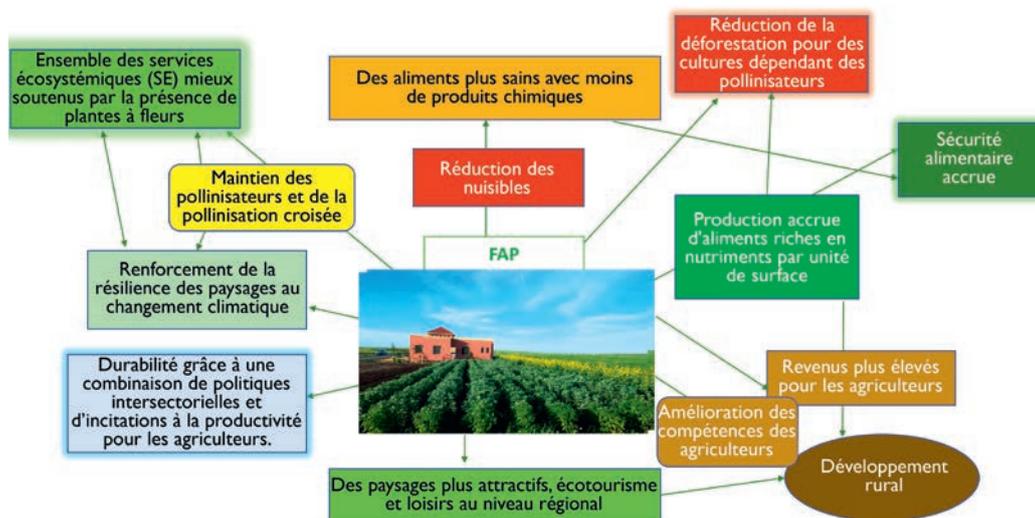
#### Plus d'informations

(1) Christmann S., 2019. Do we realize the full impact of pollinator loss on other ecosystem services and the challenges for any restoration in terrestrial areas? *Restor. Ecol.*, 27(4): 720-725.

(2) Christmann S., Bencharki Y., Anougmar S., Rasmont P., Smaili M.C., Tsvilikas A., Aw-Hassan A., 2021. Farming with Alternative Pollinators benefits pollinators, natural enemies, and yields, and offers transformative change to agriculture. *Nature Scientific Reports*, <https://doi.org/10.1038/s41598-021-97695-5>

(3) Christmann S., Aw-Hassan A., Güler Y., Sarisu H.C., Bernard M., Smaili M.C., Tsvilikas A., 2021. Two enabling factors for farmer-driven pollinator protection in low- and middle-income countries. *Int. J. Agr. Sustain.*, doi: 10.1080/14735903.2021.1916254

(4) Christmann S., 2020. Climate change enforces to look beyond the plant. The example of pollinators. *Curr. Opin. Plant Biol.*, 56: 162-167.



Christmann 2020, *Current Opinion in Plant Biology*.



## Les arbres, au centre de la gestion agroécologique des bioagresseurs du caféier

La présence d'arbres dans les caféières et leur environnement proche influence le développement des bioagresseurs. **Les arbres stimulent trois voies d'action agroécologiques :** (i) ils modifient l'environnement physique et affectent le développement des bioagresseurs directement, ou indirectement, via le développement d'ennemis naturels ou en modifiant la physiologie des plantes cultivées ; (ii) ils modifient l'environnement biologique et favorisent les ennemis naturels (oiseaux, certains arthropodes et micro-organismes) ; (iii) ils créent des barrières physiques qui limitent les déplacements des bioagresseurs. Comprendre ces différentes voies d'action est nécessaire afin d'exploiter l'arbre comme moyen de gestion agroécologique des bioagresseurs du café ou d'autres cultures.

Certaines maladies sont quasiment absentes dans les systèmes agroforestiers à base de café, en raison des températures moins extrêmes qui y règnent (ex. maladie des yeux bruns causée par *Cercospora coffeicola*). Les arbres d'ombrage, en régulant la charge fructifère des caféiers, évitent des déséquilibres favorables à d'autres maladies comme l'antracnose des rameaux, associée à *Colletotrichum* spp., ou la rouille orangée causée par *Hemileia vastatrix*. Les arbres hébergent des prédateurs d'insectes nuisibles, comme des oiseaux et fourmis, et fournissent des conditions ombragées et humides favorables aux ennemis naturels fongiques, *Beauveria bassiana* et *Lecanicillium lecanii*. Ils contribuent ainsi à la régulation du scolyte des fruits, *Hypothenemus hampei*, et de la rouille. Par ailleurs, les arbres, en brise-vent, permettent d'éviter la brûlure des pointes du caféier, causée par *Phoma costarricensis* qui pénètre les feuilles via des blessures causées par les vents froids. Enfin, l'interruption



▲ Brise-vents de Croton dans des caféières sous ombrage d'Inga, Apanaca, Salvador. © J. Avelino

des paysages caféiers par des forêts réduit les incidences du scolyte des fruits, en lui compliquant probablement l'accès aux ressources pendant les périodes d'absence de fruits. Les effets des arbres sur les bioagresseurs peuvent être complexes, parfois indésirables ; certains sont instables en raison d'interactions avec l'environnement. Par ailleurs, tous les arbres ne sont pas équivalents. Un des enjeux de la recherche est aujourd'hui de trouver les arbres aux traits fonctionnels qui permettent de réduire les effets indésirables tout en maintenant les effets désirables.

### Contacts

Jacques Avelino (Phim, Cirad, France), [jacques.avelino@cirad.fr](mailto:jacques.avelino@cirad.fr)

Fabienne Ribeyre (Phim, Cirad, France), [fabienne.ribeyre@cirad.fr](mailto:fabienne.ribeyre@cirad.fr)

Bernard Dufour (Phim, Cirad, France), [bernard.dufour@cirad.fr](mailto:bernard.dufour@cirad.fr)

### Plus d'informations

• Avelino J., Allinne C., Cerda R., Willocquet L., Savary S., 2018. Multiple-disease system in coffee: from crop loss assessment to sustainable management. *Annual Review of Phytopathology*, 56: 611-635.

• Avelino J., Ten Hoopen G.M., DeClerck F.A.J., 2011. Ecological mechanisms for pest and disease control in coffee and cacao agroecosystems of the Neotropics. In Rapidel B. et al. (eds): *Ecosystem services from agriculture and agroforestry measurement and payment*. e Earthscan: 91-117.

## Les systèmes agroforestiers à base d'hévéa à Kalimantan, Indonésie

Une enquête a été menée par le Cirad en 2019 sur l'évolution des parcelles d'essai de systèmes agroforestiers à base d'hévéa (RAS pour *rubber agroforestry system*) qui avaient été mises en place dans les années 1990 à Kalimantan-Ouest dans le cadre du projet « Smallholder rubber agroforestry » (Srap)<sup>(3)</sup>. En 1994, la plupart des agriculteurs dépendaient principalement des « jungle rubber », c'est-à-dire des systèmes agroforestiers à base de semis dont la productivité était faible (500 kg/ha/an) mais la biomasse et la biodiversité élevées. La plupart des agriculteurs souhaitaient alors avoir accès à du matériel clonal de plantation d'hévéa afin d'améliorer la productivité des terres (rendements attendus jusqu'à 1 800 kg/ha/an) tout en conservant les avantages de leurs pratiques agroforestières.

suv.

Systèmes agroforestiers à base d'hévéa (RAS) = Diversification au sein d'un même système de culture

RAS 1 : « jungle rubber » extensive améliorée



RAS 2 : système intensif avec des cultures intercalaires



Programme de recherche Srap 1997/2007 financé par l'Usaid et le CFC.

Densité de plantation d'hévéas similaire à celle de la monoculture

RAS 3 : réhabilitation des prairies d'*Imperata*



Les expérimentations en milieu paysan ont été initialement mises en place avec les agriculteurs pour de multiples raisons : (i) fournir des clones et générer des rendements élevés en caoutchouc ; (ii) maintenir les pratiques agroforestières pour bénéficier d'externalités positives et de services écosystémiques à long terme ; et (iii) diversifier les revenus grâce au bois, aux fruits, à la résine et autres produits forestiers. En 1997, le palmier à huile est apparu dans le paysage grâce au développement très rapide des concessions privées dans les années 1990, ce qui a donné aux agriculteurs locaux l'occasion d'accéder à des parcelles de palmier à huile de bonne qualité (2 ha) en échange de terres pour la concession privée (5 ha principalement dédiés à la plantation de palmiers à huile). Le palmier à huile est ainsi devenu la culture prioritaire de la plupart des petits exploitants dans les années 2000. Toute la forêt et la plupart des peuplements de « jungle rubber » ont disparu. En 2019, environ deux tiers

de la zone étaient cultivés en palmier à huile et un tiers en caoutchouc clonal. Entre-temps, l'intérêt des petits exploitants s'est détourné de l'hévéaculture en raison des faibles prix du caoutchouc qui prévalent depuis 2013 ; ils s'appuient désormais sur plusieurs cultures sans pour autant abandonner définitivement le caoutchouc. L'hévéa est toujours planté pour diversifier les revenus, principalement en monoculture et dans des systèmes de type RAS 2 (c.-à-d. avec 550 hévéas/ha, et 250 arbres fruitiers/forestiers associés par ha dans les inter-rangs). La plupart des agriculteurs locaux sont favorables aux pratiques agroforestières tant qu'elles ne compromettent pas le potentiel de production des hévéas et qu'elles peuvent augmenter significativement leur marge brute par ha (30 % en moyenne en 2020). **La durabilité à long terme des systèmes RAS est reconnue.** La valorisation du bois d'hévéa en fin de vie et des arbres à bois associés, couvre les frais de replantation. **Le RAS**

**contribue significativement à la transition agroécologique et constitue une alternative sérieuse à la monoculture du palmier à huile.**

**Contact**

Éric Penot (Innovation, Cirad, France), eric.penot@cirad.fr

**Plus d'informations**

- (1) Penot E., 2001. *Stratégies paysannes et évolution des savoirs : l'hévéaculture agroforestière indonésienne*. Thèse de doctorat, Faculté des Sciences économiques, Montpellier, Université Montpellier I, 360 p.
- (2) Penot E., Courbet P., Chambon B., Ilang I., Komardiwan I., 1999. *Les agroforêts à hévéas améliorées en Indonésie : mythe ou réalité*. *Plantations, recherche, développement*, 6(6): 400-414. <http://agritrop.cirad.fr/476652>
- (3) Penot E., Ilang I., Asgnari A., 2019. *Rubber agroforestry systems in Kalimantan, Indonesia. Which changes from 1994 to 2019 for SRAP/RAS (Smallholder rubber agroforestry project/ Rubber agroforestry systems)?* CIRAD/CIFOR. Montpellier, Bogor, December 2019.

## Mise en œuvre d'approches centrées sur l'agriculteur pour le déploiement des principes agroécologiques dans les petites exploitations du Niger et du Kenya

Les petites exploitations agricoles contribuent de manière essentielle à la sécurité alimentaire mondiale, mais elles sont fortement menacées par la dégradation des terres, la perte des fonctions/fertilité des sols et les faibles rendements agricoles. La dégradation des sols doit être combattue par l'engagement actif des agriculteurs à intégrer des pratiques agricoles restauratrices des sols. Des

agriculteurs kényans et nigériens ont innové et testé des pratiques de gestion des terres capables de restaurer la productivité agricole et la santé des écosystèmes via des comparaisons planifiées dans leurs exploitations. Ces comparaisons planifiées - qui diffèrent radicalement des démarches antérieures de développement - intègrent la recherche dans les processus de développement<sup>(1)</sup> et de mise à

l'échelle, tout en donnant aux agriculteurs les moyens de restaurer les terres dégradées. La recherche pour le développement assure le co-apprentissage de multiples parties prenantes afin de garantir une gestion adaptative. Les agriculteurs et les communautés locales comparent ainsi les performances de pratiques prometteuses dans des contextes différents.



Au Kenya, les agriculteurs ont comparé différentes mesures de conservation de l'eau du sol en même temps que des pratiques de plantation et de gestion des arbres. Plus précisément, ils ont adapté des cuvettes de plantation de différentes tailles (avec et sans fumier) pour diverses cultures afin de répondre à leurs besoins, tout en intégrant des espèces d'arbres à usages multiples. Au Niger, les agriculteurs ont comparé différentes options : la régénération naturelle assistée (RNA) gérée par les agriculteurs, le compostage des résidus de culture et la gestion intégrée des engrais et des cultures. Plus de 10 000 ménages agricoles ont été suivis pendant 3 ans pour évaluer et documenter l'impact de ces différentes options de restauration des terres d'un point de vue socio-économique et environnemental<sup>(2)</sup>. **La RNA combinée à un microdosage d'engrais minéraux associé au fumier, a produit les rendements les plus élevés dans les cinq régions du Niger<sup>(3)</sup>.** La RNA implique la régénération d'arbres indigènes dans les cultures, contribuant ainsi à la protection contre le vent, à la matière organique issue de la décomposition des feuilles et des racines tout en améliorant le cycle hydrologique. Étant donné le manque d'engrais minéraux, qui constitue une contrainte pour les agriculteurs, la RNA associée

à un microdosage de fumier dans les systèmes de cultures intercalaires de millet et de niébé, est une alternative intéressante. **Les résultats obtenus au Kenya montrent que, par rapport aux pratiques habituelles des agriculteurs, le rendement des cultures a été multiplié de 2 à 4 fois dans les plantations avec du fumier, alors qu'il a été multiplié par 2 dans celles non amendées. En outre, les agriculteurs ont fait état d'une amélioration de la sécurité alimentaire et des revenus et, surtout, d'une diminution de la dépendance à l'égard de l'aide alimentaire grâce à l'augmentation des rendements et à la diversification des produits.**

#### Contacts

Leigh Winowiecki (ICRAF, CGIAR, Kenya),  
l.a.winowiecki@cgiar.org

Christine Magaju (ICRAF, CGIAR, Kenya),  
c.magaju@cgiar.org

Vincent Bado (ICRISAT, CGIAR, Niger), v.bado@cgiar.org

#### Autres auteurs

Anthony Whitbread (ICRISAT, CGIAR, Tanzanie)

Fergus Sinclair (ICRAF, CGIAR, Kenya/Université de Bangor, Royaume-Uni)

#### Plus d'informations

(1) Coe R., Sinclair F., Barrios E., 2014. Scaling up agroforestry requires research "in" rather than "for" development. *Curr. Opin. Environ. Sustain.*, 6: 73-77. doi:10.1016/j.cosust.2013.10.013

(2) World Agroforestry, 2020. *Restoration of degraded land for food security and poverty reduction in East Africa and the Sahel: employing a farmer-centered approach in Ethiopia, Kenya, Mali and Niger.* World Agroforestry, Nairobi, Kenya. [www.worldagroforestry.org/output/full-brochure-2020-using-planned-comparisons-east-africa-and-sahel](http://www.worldagroforestry.org/output/full-brochure-2020-using-planned-comparisons-east-africa-and-sahel)

(3) Bado B.V., Whitbread A., Sanoussi Manzo M.L., 2021. Improving agricultural productivity using agroforestry systems: performance of millet, cowpea, and ziziphous based cropping systems in West Africa Sahel. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 305. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107175>

## Intensification agroécologique des systèmes de production rizicoles à faible rendement par l'intégration d'arbres

L'intégration d'arbres dans les systèmes de production rizicoles peut contribuer aux transitions agroécologiques en améliorant la santé des sols, le cycle des nutriments et la diversification économique. Cependant, le riz est souvent considéré comme un faible compétiteur et peut ne pas donner un bon rendement lorsqu'il est cultivé avec des arbres. Une analyse bibliographique a identifié six pratiques agroforestières pour le riz : rotations à long terme, cultures intercalaires avec des haies, fertilisation avec des engrais verts, cultures intercalaires riz-arbre à long terme, pratiques agroforestières traditionnelles et gestion des forêts ou de jachères impliquant 188 espèces d'arbres<sup>(1)</sup>. Les arbres fournissent une variété de produits et de services, mais le rendement en riz est le seul indicateur quantitatif de performance pour lequel il existe suffisamment de données pour réaliser une méta-analyse. **Quelle que soit la pratique agroforestière, l'effet moyen de l'intégration d'arbres, comparé au témoin sans engrais ni arbres, est estimé à + 20 %.**

Lorsque les arbres sont combinés à des engrais, les rendements du riz sont en moyenne 24 % plus élevés qu'avec du riz fertilisé sans arbres, dans des conditions de faible rendement (témoin < 1,5 t.ha<sup>-1</sup>), mais ils sont 13 % plus bas dans des conditions de rendement plus élevé (témoin > 1,5 t.ha<sup>-1</sup>) (figure). La culture intercalaire avec des haies et l'engrais vert génère le meilleur rendement en riz. Plusieurs espèces d'arbres ont été identifiées qui combinent rendement amélioré (en plus d'autres produits et services) et grande adaptabilité environnementale sur le continent africain : *Sesbania rostrata*, *Acacia auriculiformis*, *Glicicidia sepium*, *Acacia nilotica* et *Leuceana leucocephala*. Il y a eu relativement peu d'efforts concertés de la part de la communauté internationale de recherche et du développement pour étudier et promouvoir

l'agroforesterie à base de riz, en particulier en Afrique où de nombreux facteurs politiques et institutionnels peuvent décourager les agriculteurs à intégrer des arbres dans leurs champs et paysages agricoles. L'accélération du changement climatique et la demande croissante en ressources naturelles justifient un investissement plus important dans ce domaine. La promotion judicieuse, factuelle, de l'intégration des arbres dans les systèmes de production rizicoles sous les tropiques, nécessite une recherche agronomique et des recherches participatives avec les agriculteurs, afin de soutenir l'innovation locale en matière de meilleures pratiques et d'espèces d'arbres adaptées.

#### Contact

Jonne Rodenburg (Institut des ressources naturelles, Université de Greenwich, Royaume-Uni),  
j.rodenburg@greenwich.ac.uk

#### Autres auteurs

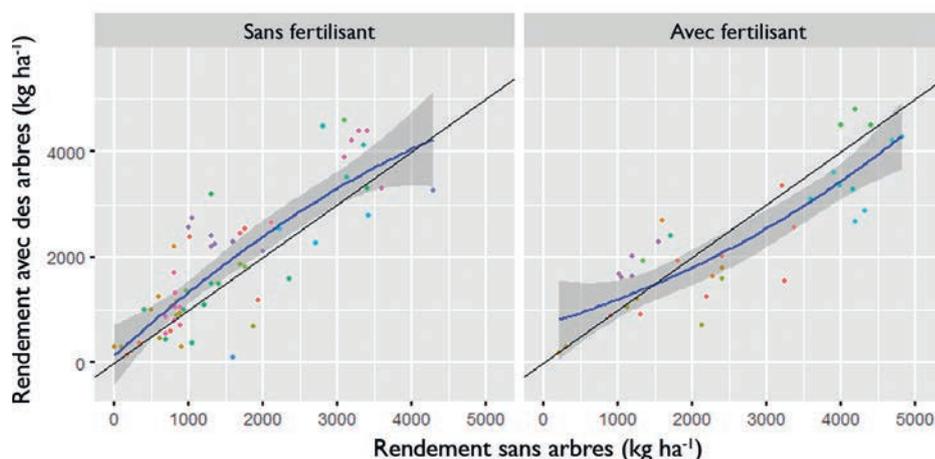
Eefke Mollee (Université de Bangor, Royaume-Uni)

Richard Coe (ICRAF, CGIAR, Kenya)

Fergus Sinclair (ICRAF, CGIAR, Kenya/Bangor University, Royaume-Uni)

#### Plus d'informations

(1) Rodenburg J., Mollee E., Coe R., Sinclair F. (in review). Yield benefits from tree integration in smallholder rice cropping systems. *Field Crops Research*.



#### ▲ Rendements du riz avec et sans arbres, avec et sans engrais.

La ligne 1:1 (noire) indique une égalité des rendements avec et sans arbres. L'ajustement de la courbe aux données de rendement moyen avec des arbres (courbe bleue) est réalisé avec un intervalle de confiance approximatif de 95 % (bande grise). Les points de couleurs différentes distinguent des observations tirées de différentes études (40 études au total). D'après Rodenburg et al., in review.

## L'agroforesterie, une option crédible pour une cacaoculture durable en Afrique

L'association d'arbres aux cacaoyers, ou cacaoculture agroforestière, peut contribuer à une transition agroécologique de cette culture en Afrique. La culture pure de cacaoyers, sans ombrage ou presque, y est en effet dominante mais elle montre aujourd'hui ses limites. Il est donc urgent d'identifier des solutions techniques pour stabiliser les zones cacaoyères, réduire la tension sur les forêts et s'adapter à l'évolution du climat. Alors que les pratiques agroforestières étaient encore ces dernières années déconseillées aux agriculteurs en raison des possibles compétitions qu'elles pouvaient engendrer au sein des cacaoyères, des travaux récents menés au Cameroun montrent, au contraire, qu'un équilibre peut être trouvé entre les cacaoyers et les arbres fruitiers et forestiers choisis par les agriculteurs pour leurs usages variés, ceci tout en maintenant un bon rendement en cacao sur le long terme. Cet équilibre, que les agriculteurs obtiennent grâce à une gestion fine des arbres associés aux cacaoyers, permet aussi la fourniture de services écologiques comme le stockage du carbone, le maintien de la biodiversité et la régulation des bio-agresseurs des cacaoyers. **Le pilotage des cacaoyères agroforestières pour atteindre ces compromis peut s'appuyer sur un indicateur simple, la surface terrière\***

**relative des cacaoyers calculée à partir de la mesure de la surface terrière des cacaoyers et de celle des arbres associés.** Au Cameroun, la valeur de cet indicateur est en moyenne de 40 % dans les cacaoyères agroforestières adultes qui produisent une tonne de cacao marchand par hectare. Elle est du même ordre de grandeur dans les cacaoyères présentant les meilleurs compromis entre rendement en cacao, stockage de carbone et régulation des bio-agresseurs. Simple à utiliser, cet indicateur est à adapter selon les zones de cacaoculture. Il devrait être également adopté pour la certification du cacao durable. La convergence entre savoirs locaux et résultats scientifiques pourrait aider à co-construire les conseils techniques.

\* La surface terrière d'un arbre est la surface de la section transversale de cet arbre à hauteur d'homme.

### Contact

Patrick Jagoret (Absys, Cirad, France),  
patrick.jagoret@cirad.fr

### Plus d'informations

Jagoret P, Saj S., Carimentrand A., 2020. Cocoa agroforestry systems in Africa. The art of reconciling sustainable production and ecological services. *Perspective*, 54. <https://doi.org/10.19182/perspective/31916>



▲ *Vue d'un système agroforestier cacaoyer typique de la zone centrale du Cameroun (Obala). Les cacaoyers sont dominés par une strate intermédiaire composée principalement d'arbres fruitiers, le tout dominé par une haute strate d'arbres forestiers. © P. Jagoret*

## Les haies, leurs fonctions dans les agroécosystèmes et leur contribution au stockage du carbone en France

L'introduction d'arbres dans les espaces agricoles est identifiée par le Giec comme un levier d'atténuation du changement climatique et d'accroissement du stock de carbone dans les sols. Bien que les haies soient largement répandues de par le monde, il y a encore peu de données sur leur contribution au stockage de carbone, notamment en milieu tempéré. Des travaux récents menés dans l'ouest de la France (Bretagne, Pays de Loire)<sup>(1,2)</sup> ont évalué ces stocks à proximité de haies récentes (20 ans), ou plus anciennes (de 40 à 120 ans). Ils montrent **un effet significatif de la haie sur les stocks de carbone dans le sol des parcelles adjacentes, jusqu'à 3 m de distance. L'augmentation annuelle des stocks est estimée entre 9 et 13 % localement autour de la haie, soit 2 à 3 fois l'objectif annuel de croissance de 4 % des stocks de carbone du sol qui permettrait de compenser les émissions de CO<sub>2</sub> liées aux activités humaines<sup>(2)</sup>.** Par contre, à l'échelle d'un paysage, l'impact des haies sur le stockage de carbone est inférieur à l'objectif 4 % : dans un paysage théorique composé de parcelles carrées de 1 ha, l'implantation de haies tout autour des parcelles ne permettrait qu'un stockage de carbone additionnel annuel de 1 à 1,5 %, ce qui suggère que cette implantation soit pensée en complément d'autres pratiques.

Nos recherches, centrées sur une fonction environnementale des haies, s'inscrivent aujourd'hui, de plus en plus, dans un cadre interdisciplinaire, afin de mieux faire le lien entre les systèmes de gestion des agriculteurs et le maintien dans la durée des fonctions multiples (écologiques, agronomiques) qui en sont attendues, et de concevoir des systèmes

agroforestiers bocagers durables<sup>(1)</sup>. En effet, les haies sont encore aujourd'hui considérées strictement comme des infrastructures environnementales. Reconnecter l'évaluation de ces fonctions environnementales à celle de leurs fonctions agroécologiques comme production associée aux cultures et aux élevages dans les espaces agricoles, est essentiel.

### Contacts

Valérie Viaud (SAS, INRAE, France),  
valerie.viaud@inrae.fr

Claudine Thenail (Bagap, INRAE, France),  
claudine.thenail@inrae.fr

### Plus d'informations

(1) Thenail C., Aviron S., Viaud V., Guehenneuc T., Menguy C. 2017. *Multi-functional hedgerows in the bocage systems of France. Rejuvenating a traditional system through farmer-led innovation*. Plaquette du projet AgFoward. [www.agforward.eu/index.php/fr/bocage-agroforestier-bretagne-france.html?file=files/agforward/documents/leaflets/09\\_Multi-functional\\_hedgerows\\_in\\_thebocage\\_system\\_in\\_France.pdf](http://www.agforward.eu/index.php/fr/bocage-agroforestier-bretagne-france.html?file=files/agforward/documents/leaflets/09_Multi-functional_hedgerows_in_thebocage_system_in_France.pdf)

(2) Viaud V., Kunnemann T., 2021. Additional soil organic carbon stocks in hedgerows in crop-livestock areas of western France. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 305. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107174>



▲ *Haies pluristrates d'une quinzaine d'années dans les Côtes d'Armor (France), composée de châtaigniers, noisetiers, hêtres, chênes et charmes.*

Ces haies sont plantées et gérées par l'association d'agriculteurs « Terres et bocages » (<http://terresetbocages.org/>) dans une démarche d'agroforesterie bocagère, qui, à la fois, s'appuie sur l'insertion des haies dans les activités agricoles et vise leur multifonctionnalité. © V. Viaud



▲ *Haie d'une vingtaine d'années dans le Finistère (France) composée de chênes, charmes, noisetiers, châtaigniers et sureaux.* © V. Viaud

# Culture intercalaire en vergers fruitiers, pour la sécurité nutritionnelle et la résilience au changement climatique dans les zones sèches

La culture intercalaire d'arbres fruitiers et de cultures (à grains, maraichères ou fourragères) est une pratique traditionnelle dans les régions méditerranéennes et les zones sèches. Mais cette pratique a disparu avec l'avènement de la mécanisation et de l'intensification de l'agriculture. Cependant, en Europe, elle est de plus en plus promue comme une composante de la transformation agroécologique des systèmes agroalimentaires. **La sélection, la conception et la gestion d'associations cultures-arbres en fonction de la disponibilité en eau et des conditions de la chaîne de valeur des produits, constituent une opportunité pour une agriculture des zones sèches contribuant à la nutrition et résiliente au climat.**

L'enquête agronomique dans les exploitations, l'expérimentation au champ et la modélisation<sup>(1)</sup> ont été utilisées pour analyser la concurrence et la facilitation entre les cultures et les arbres afin de définir les conditions requises pour réussir des systèmes de cultures intercalaires lorsque les disponibilités en eau sont faibles. Au Maroc, la culture intercalaire d'orge et de fèves avec des oliviers matures a augmenté la productivité totale des terres par rapport à la monoculture, mais a réduit la production de la culture de 50 % selon le gradient de disponibilité en eau. Les effets négatifs des arbres matures sur la phase végétative de la culture ne sont pas entièrement compensés par les effets positifs pendant la phase reproductive<sup>(4)</sup>. Dans des vergers de pêchers du sud de la France,

► *Jeunes vergers expérimentaux de pêchers en culture intercalaire, gérés par une irrigation déficitaire contrôlée au goutte à goutte à Montpellier (sud de la France).*

© O. Forey

lorsque l'association a été mise en place au stade de la plantation des arbres avec une irrigation déficitaire contrôlée au goutte à goutte, il a été possible de stimuler la séparation des systèmes racinaires des arbres et de la culture dans différents horizons du sol, limitant ainsi la compétition eau-nutriments tout en assurant une croissance précoce des feuilles et des branches des jeunes arbres<sup>(2,3)</sup>. Dans le centre de l'Inde, des goyaviers plantés dans une rotation pois-haricots mungo ont donné, 3 ans après leur plantation, un rendement en fruits de 12,5 kg/arbre ; le rendement a ensuite augmenté. Par rapport à la rotation conventionnelle blé-soja pluvial, la productivité économique de l'eau du système a augmenté de 41 % avec le système goyave/pois-haricot mungo. **Ces résultats et cette approche de recherche fournissent une base solide pour concevoir et gérer des systèmes agroforestiers en situation de pénurie d'eau, les céréales et les légumineuses fournissant des revenus et des aliments lors des premières années improductives de plantation du verger (3-10 ans), tout en créant de bonnes conditions pour des interactions positives entre les cultures de plein champ et les arbres une fois que le verger a atteint sa maturité.**

## Contacts

Jacques Wery (Institut Agro, France), [jacques.wery@institut-agro.fr](mailto:jacques.wery@institut-agro.fr)

Karim Barkaoui (Absys, Cirad, France), [k.barkaoui@cirad.fr](mailto:k.barkaoui@cirad.fr)

Vinay Nangia (ICARDA, CGIAR, Maroc), [v.nangia@cgiar.org](mailto:v.nangia@cgiar.org)

## Autres auteurs

Aurélien Metay, Fida Temani et Oswaldo Forey (Absys, Institut Agro | Montpellier SupAgro, France)

## Autres informations

(1) Bertrand N., Roux S., Forey O., Guinet M., Wery J., 2018. Simulating plant water stress dynamics in a wide range of bi-specific agrosystems in a region using the BISWAT model. *Eur. J. Agron.*, 99: 116-128.

(2) Forey O., Metay A., Wery J., 2016. Differential effect of regulated deficit irrigation on growth and photosynthesis in young peach trees intercropped with grass. *Eur. J. Agron.*, 81: 106-116. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.09.006>

(3) Forey O., Temani F., Wery J., Jourdan C., Metay A., 2017. Effect of combined deficit irrigation and grass competition at plantation on peach tree root distribution. *Eur. J. Agron.*, 91: 16-24. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.08.008>

(4) Temani F., Bouaziz A., Daoui K., Wery J., Barkaoui K., 2021. Olive agroforestry can improve land productivity even under low water availability in the South Mediterranean. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 307(Oct. 2020): 107234. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107234>



▲ Comparaison de vergers d'oliviers et d'une rotation orge-fève en culture pure ou en culture intercalaire au Maroc. © F.Temani

## Préserver et restaurer le fonctionnement des sols avec l'agroforesterie

Le bon fonctionnement des sols est directement lié à leur teneur en matières organiques, constituées à 58 % de carbone organique, source de nourriture pour une riche biodiversité, qui permet le recyclage et la fourniture de nutriments essentiels pour les plantes. Pourtant, un tiers des sols de la planète sont considérés comme dégradés. L'initiative « 4 pour 1000 : les sols pour la sécurité alimentaire et le climat », lancée lors de la COP21 (2015), a mis les sols au cœur des enjeux globaux. **Différentes pratiques agricoles contribuent à restaurer la fertilité et le fonctionnement des sols. L'agroforesterie, ou l'association d'arbres avec des cultures, en est une.** Une récente synthèse globale du Cirad et d'INRAE<sup>(1)</sup> fait le point sur le sujet : la chute des feuilles et le renouvellement des racines des arbres enrichissent le sol en carbone, les racines des arbres augmentent la porosité du sol, favorisent l'infiltration de l'eau et prélèvent des éléments nutritifs en profondeur,

inaccessibles pour les cultures, et les remontent à la surface. L'ascenseur hydraulique permet également une redistribution de l'eau dans le sol pendant la nuit, des horizons humides vers les horizons plus secs, jouant un rôle crucial pour les cultures, notamment sous les climats arides. La présence d'arbres dans les parcelles agricoles favorise la biodiversité du sol, à la fois la macrofaune, notamment les vers de terre, mais également la microfaune, comme les mycorhizes. Une publication récente du Cirad et de la FAO<sup>(2)</sup> concernant le stockage de carbone en agroforesterie et son rôle pour l'atténuation du changement climatique, a aidé le Giec à mieux prendre en compte cette pratique. L'IRD, le Cirad et INRAE travaillent actuellement sur ce sujet, notamment dans le cadre du projet DSCATT « Agricultural intensification and dynamics of soil carbon sequestration in tropical and temperate farming systems ».

### Contact

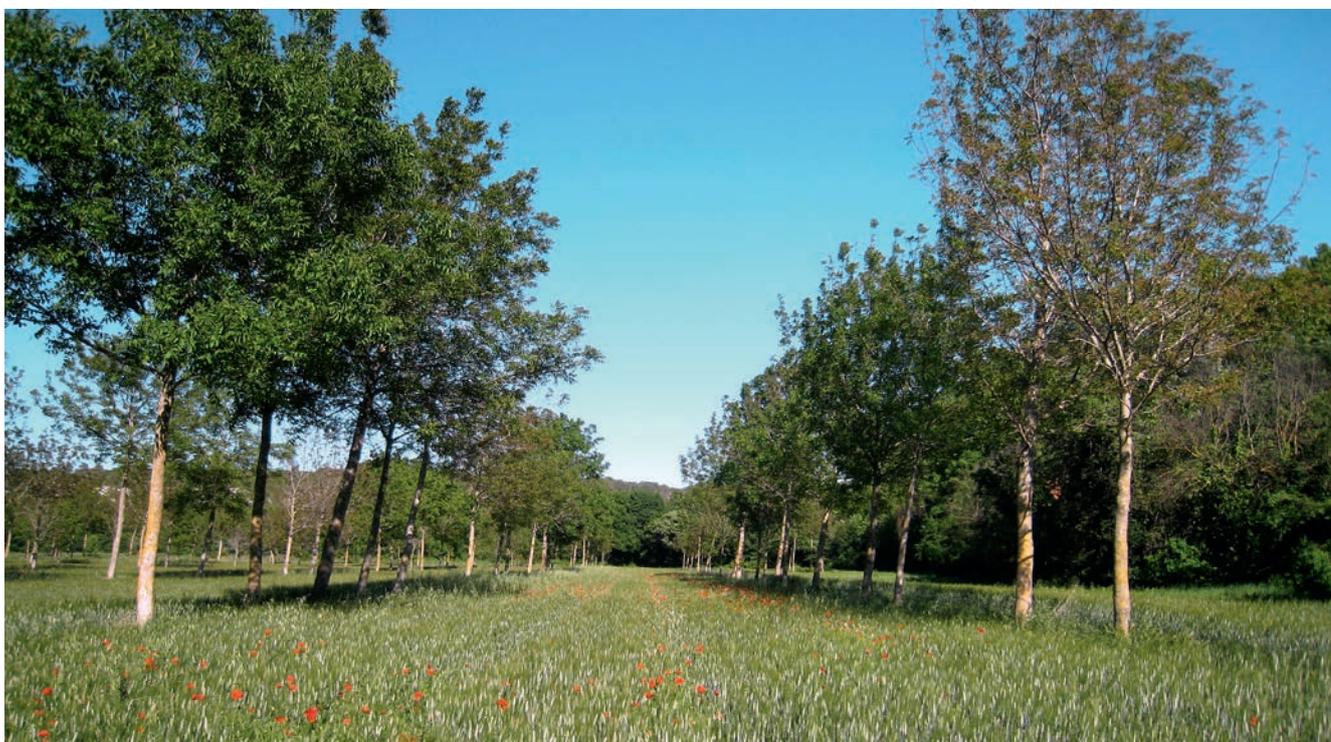
Rémi Cardinael (Aida, Cirad, France),  
remi.cardinael@cirad.fr

### Plus d'informations

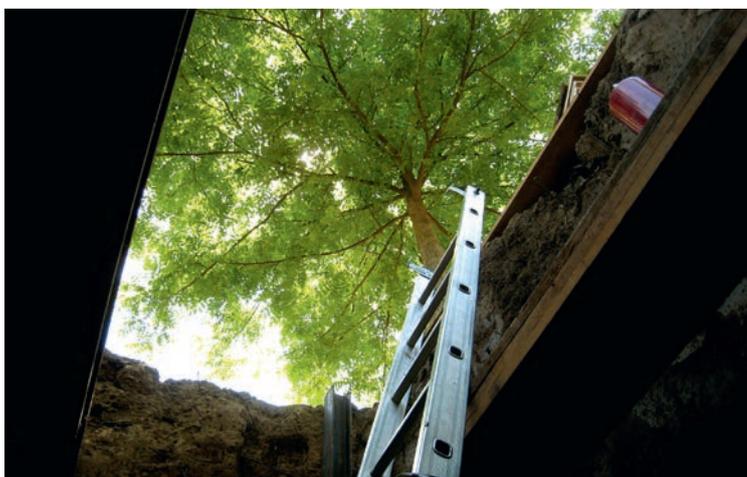
(1) Cardinael R., Mao Z., Chenu C. Hinsinger P., 2020. Belowground functioning of agroforestry systems: recent advances and perspectives. *Plant Soil*, 453:1-13. <https://doi.org/10.1007/s11104-020-04633-x>

(2) Cardinael R., Umulisa V., Toudert A., Olivier A., Bockel L., Bernoux M., 2018. Revisiting IPCC Tier I coefficients for soil organic and biomass carbon storage in agroforestry systems. *Environ. Res. Lett.*, 13: 124020. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aab5f>

• Projet DSCATT, Soil carbon sequestration in farming systems : <https://dscatt.net/>



▲ Système agroforestier associant noyers hybrides et blé dur, France.  
© R. Cardinael/Cirad



▲ Fosse pédologique de 4 m de profondeur pour étudier le sol et la distribution des racines dans un système agroforestier associant noyers hybrides et blé dur, France. © R. Cardinael/Cirad

# Comment renouveler les intérêts sociaux et économiques pour les parcs agroforestiers en Afrique de l'Ouest ?

**E**n zone soudano-sahélienne, les parcs arborés sont l'archétype des paysages agricoles. Intégrés à l'espace cultivé et pâturé, certains arbres sont sélectionnés et épargnés lors des défrichements (rotations cultures/jachères) puis exploités pour les multiples services qu'ils fournissent. Sous des seuils démographiques qui le permettaient, différents types de parcs ont été construits en fonction des conditions agroécologiques et des contextes économiques et sociaux. Aujourd'hui, la plupart des parcs sont en voie de dégradation. Les causes sont complexes, multifactorielles et contextuelles. Avec la croissance démographique, la pression foncière et l'extension des cultures, les jachères disparaissent progressivement. L'augmentation des prélèvements sur les arbres et la mécanisation agricole entravent la régénération du couvert ligneux. Enfin, les règles coutumières de gouvernance foncière qui permettaient une gestion des parcs sont bouleversées par les changements économiques et sociaux.



▲ Parc à *Faidherbia albida* en pays sérère, Sénégal. © C. Clermont-Dauphin

Inverser cette tendance avec seulement des innovations techniques à l'échelle locale s'avère vain. Pour favoriser le renouveau des parcs en valorisant les services rendus par les arbres dans le cadre d'une intensification agroécologique, une approche systémique et multi-échelle paraît nécessaire<sup>(1,2)</sup>. Afin de définir des voies de changement durable en considérant les priorités économiques et sociales actuelles, les approches

participatives incluent, dans une même négociation, l'ensemble des acteurs, y compris aux intérêts parfois antagonistes (agriculteurs et éleveurs) ou souvent oubliés (femmes et jeunes), services techniques agricoles et forestiers, représentants des autorités locales et administratives. **Parmi quelques voies prometteuses, citons la co-construction de projets d'appui au développement de filières valorisant les produits de l'arbre**

**dans lesquelles les femmes sont des actrices essentielles, la concertation sur de nouvelles règles de gouvernance de ces espaces, la promotion de démarches articulant innovations techniques et savoirs locaux favorisant l'appropriation et la diffusion.** Ainsi, localement, des succès d'adoption de la régénération naturelle assistée sont observables dans plusieurs pays d'Afrique de l'Ouest.



◀ *Transplantation de sauvages de karité, « l'or des femmes », (*Vitellaria paradoxa*) dans un champ à l'aide d'un extracteur, Gonsé, Burkina Faso.*  
© J. Seghieri

## Contacts

Josiane Seghieri (Eco&Sols, IRD, France),  
josiane.seghieri@ird.fr

Jean-Etienne Bidou (LAM, CNRS, France),  
jean-etienne.bidou@wanadoo.fr

Isabelle Droy (UMI Source, LAM, IRD, France),  
isabelle.droy@ird.fr

Maud Loireau (Espace-DEV, IRD, France),  
maud.loireau@ird.fr

## Plus d'informations

(1) Seghieri J., Brouwers J., Bidou J.E., Ingram V., Droy I., Bastide B., Sanogo D., 2020. Research and development challenges in scaling innovation: a case study of the LEAP-Agri RAMSES II project. *Agroforestry Systems*. doi: 10.1007/s10457-020-00532-3.

(2) Smith M.S., Mbow C., 2014. Editorial overview: sustainability challenges. *Agroforestry from the past into the future. Current Opinion in Environmental Sustainability*, 6:134-137. doi: 10.1016/j.cosust.2013.11.017.



## Promotion du figuier de Barbarie dans les systèmes agrosylvopastoraux à faible pluviométrie d'Asie du Sud et du MENA

*Une culture à usages multiples résistante à la sécheresse*

Les systèmes agrosylvopastoraux semi-arides se caractérisent par des précipitations faibles ou irrégulières, des sols pauvres et des températures élevées. Pourtant, ces systèmes - lorsqu'ils sont gérés de manière appropriée - ont un grand potentiel pour augmenter la production, diversifier les revenus et soutenir les moyens de subsistance des populations rurales. Dans ces conditions, **certaines espèces négligées - comme le figuier de Barbarie sans épines (*Opuntia ficus indica* L.), une espèce à usages multiples, prometteuse et au métabolisme acide crassulacéen - peuvent se développer et aider les agriculteurs à faire face aux contraintes environnementales et climatiques.** Outre ses fruits savoureux et sa valeur fourragère, la figue de Barbarie joue un rôle économique important dans une agriculture de subsistance car elle nécessite un minimum d'intrants agronomiques et elle est résistante à la sécheresse. En outre, il a été prouvé que cette espèce atténue l'érosion des sols, augmente la séquestration du carbone et réduit l'abreuvement du bétail pendant les étés chauds.

L'ICARDA a lancé un programme ambitieux, il y a plus de dix ans, en collaboration avec des organismes nationaux de recherche agricole, des agences de développement, des réseaux de recherche sur les cactus, des ONG, etc., afin d'évaluer les performances de diverses accessions de figuier de Barbarie dans différents sites agroécologiques, de conserver et de multiplier les plus adaptées, et de promouvoir leur plantation dans les exploitations. **Les cactus peuvent mettre en valeur les terres marginales (ils n'entrent donc pas en concurrence avec**

**(sans entrer en compétition avec d'autres cultures nécessitant un bon sol), produire du fourrage pour le bétail et des fruits de qualité pour la consommation humaine.** Cependant, les raquettes (cladodes) ne doivent pas être pâturées directement (mais coupées et transportées) ou mangées seules ; elles doivent être mélangées à d'autres ressources alimentaires riches en fibres et en protéines disponibles dans les exploitations ou bien achetées. Des études socio-économiques ont été également menées en Afrique du Nord, Asie de l'Ouest et du Sud, et en Amérique latine pour étudier les aspects économiques et les points de vue des agriculteurs concernant l'adaptation de la culture du figuier de Barbarie. Le renforcement des compétences a été encouragé en matière de pratiques agronomiques appropriées pour maximiser le rendement et la qualité des figuiers de Barbarie en réalisant des essais d'alimentation pour mieux utiliser les cactus avec les ressources alimentaires disponibles localement et en cartographiant les zones agricoles propices pour y planter cette espèce. Un programme de formation a été mis en œuvre pour sensibiliser et informer les décideurs, les fonctionnaires et les agriculteurs au-delà de la sphère d'influence de CGIAR, sur l'importance de la culture du figuier de Barbarie en tant qu'activité génératrice de revenus à faible niveau d'intrants. Toutes ces activités ont été menées sous l'égide d'un partenariat efficace avec les organismes nationaux, ce qui a permis d'impliquer un grand nombre de parties prenantes et de susciter une demande accrue de matériel de plantation de figuiers de Barbarie.

### Contacts

Mounir Louhaichi (ICARDA, CGIAR, Tunisie), [m.louhaichi@cgiar.org](mailto:m.louhaichi@cgiar.org)

Sawsan Hassan (ICARDA, CGIAR, Jordanie), [s.hassan@cgiar.org](mailto:s.hassan@cgiar.org)

### Plus d'informations

- Inglese P. et al. (eds), 2017. *Crop ecology, cultivation and uses of cactus pear*. FAO-ICARDA, Rome. 244 p. <https://repo.mel.cgiar.org/handle/20.500.11766/8263>
- Louhaichi M., Kumar S., Tiwari S., Islam M., Hassan S., Yadav O.P., Dayal D., Moyo H.P., Dev R., Sarker A., 2018. Adoption and utilization of cactus pear in South Asia. Smallholder farmers' perceptions. *Sustainability*, 10: 3625. <https://repo.mel.cgiar.org/handle/20.500.11766/10737>
- Louhaichi M., Hassan S., 2021. *Cactus pear, a drought-tolerant crop grown by millions of farmers in dry areas for nutritional and income generating purposes*. Panorama Solutions portal: <https://panorama.solutions/en/solution/cactus-pear-drought-tolerant-crop-grown-millions-farmers-dry-areas-nutritional-and-income>
- Louhaichi M., Hassan S., Sarker S., Taguchi M., Haddad N., Inglese P., Liguori G., 2021. *Multi-purpose drought-tolerant cactus pear can provide livelihood opportunities for farmers and nutrition for people and livestock in dryland areas*. Policy Brief. Nairobi, Kenya: ILRI. <https://hdl.handle.net/10568/114695>

**Multifonctionnalité et utilisations des cultures de figuier de Barbarie**



Meilleure efficacité de l'utilisation de l'eau grâce à sa photosynthèse de type CAM (métabolisme acide crassulacéen).  
Réduit l'érosion  
Améliore la fertilité des sols  
Séquestre le carbone  
Clôture biologique  
Plante mellifère



Fruits frais ou transformés et raquettes (cladodes) Leurs propriétés nutritionnelles ont un effet positif sur la santé humaine.

**Consommation humaine (fruits et raquettes)**



Améliore la productivité animale et réduit l'abreuvement du bétail pendant la saison chaude estivale.

**Fourrage (fourrage vert disponible toute l'année)**



Soigne la gastrite, le diabète, l'hypercholestérolémie et l'obésité.

**Applications médicales (fleurs, fruits et raquettes)**



Les fruits transformés et les cladodes sont utilisés pour faire des jus, des liqueurs, des gelées. Teinture de cochenille (colorant pour cosmétiques et boissons). Graines des fruits (huile)

**Utilisations industrielles (cochenilles, fruits et huile)**

# L'intégration agriculture-élevage dans une perspective agroécologique

## Cadre conceptuel et étude de cas d'un système de production céréale-élevage dans les zones à faible pluviométrie d'Afrique du Nord

La transition agroécologique des systèmes agroalimentaires nécessite une approche holistique tout au long du système alimentaire, combinant des interventions agroécologiques et socio-économiques. Promouvoir des pratiques d'intégration culture-élevage graduelles et adaptées au contexte, fondées sur des principes agroécologiques, financièrement viables, permettrait une meilleure adhésion et transition, notamment dans les petites exploitations mixtes où la viabilité à court terme prévaut.

En Algérie et en Tunisie, l'initiative « Culture et élevage sous agriculture de conservation » (CLCA)\* aborde ce dilemme conceptuel en promouvant l'agriculture de conservation (AC) dans les systèmes culture-élevage (SCE) semi-arides. L'AC n'est pas largement acceptée en raison des indispensables compromis concernant l'utilisation de la biomasse et des ressources du sol. En effet, les agriculteurs qui pratiquent cultures et élevage sont confrontés à une pénurie aiguë de biomasse et comptent sur le pâturage des résidus de culture post-récolte, ce qui ne leur permet pas de conserver les chaumes - un pilier de l'AC. De plus, les agriculteurs préfèrent utiliser les terres pour cultiver du blé, un produit sûr pour le marché, limitant ainsi l'espace fourrager. **L'initiative CLCA promeut des pratiques de gestion élevage-cultures adaptées pour contribuer à la résilience climatique, et des SCE intégrés sous AC dans la fragile ceinture bétail-céréales de l'Afrique du Nord semi-aride.** Les options d'intégration culture-élevage

(CLIO pour *crop-livestock integration options*)<sup>(4)</sup> dans ces zones sèches comprennent l'intégration de fourrages dans les systèmes de rotation des céréales, l'amélioration de la gestion des cultures pour accroître les rendements en grains et en paille, les cultures et variétés à double usage, les combinaisons de fourrages pour le bétail, la gestion des chaumes pour le paillage, les cultures fourragères et de couverture des sols, la gestion de la santé des troupeaux, des alternatives alimentaires pendant la période de soudure estivale<sup>(1)</sup> et la mécanisation de la production alternative d'aliments. Les CLIO - du productivisme pur jusqu'aux pratiques conservatrices - n'ont pas toutes une base agroécologique. Pour réussir la transition agroécologique, il est nécessaire de les trier selon leurs propriétés agroécologiques et leurs impacts à court terme sur les moyens de subsistance des agriculteurs, tout en diffusant les CLIO agroécologiques via les canaux existants de l'initiative CLCA. En outre, certaines CLIO agroécologiques sont pertinentes pour les ménages agricoles, tandis que d'autres le sont au niveau du paysage/de la région, impliquant davantage d'actions collectives mais aussi des services écosystémiques plus larges<sup>(3)</sup>. **Par conséquent, les interventions visant à renforcer les organisations d'agriculteurs peuvent contribuer à la réussite de la mise en œuvre des CLIO agroécologiques.**

\* Initiative CLCA, *Crop-livestock under conservation agriculture* : <https://mel.cgiar.org/projects/clca2>

### Contacts

Mourad Rekik (ICARDA, CGIAR, Tunisie), [m.rekik@cgiar.org](mailto:m.rekik@cgiar.org)

Ayem Frijia (ICARDA, CGIAR, Tunisie), [a.frijia@cgiar.org](mailto:a.frijia@cgiar.org)

Véronique Alary (ICARDA, CGIAR, Tunisie), [v.alary@cgiar.org](mailto:v.alary@cgiar.org)

### Autres auteurs

Zied Idoudi et Mina Devkota (ICARDA, CGIAR, Tunisie et Maroc respectivement)

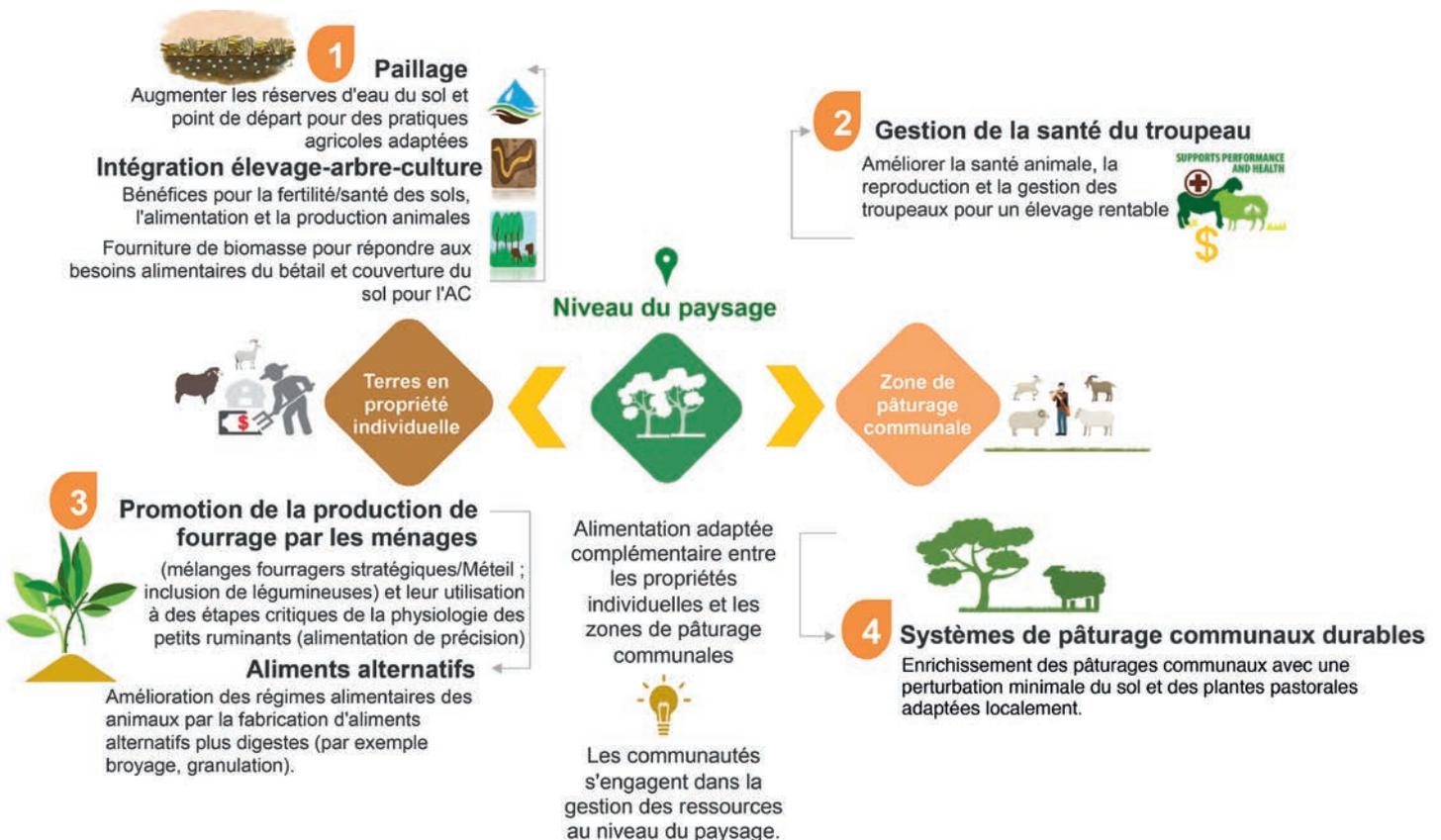
### Plus d'informations

(1) Abidi S., Ben Youssef S., Ben Salem H., 2021. Foraging behaviour, digestion and growth performance of sheep grazing on dried vetch pasture cropped under conservation agriculture. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 105:51-58.

(2) Bahri H., Annabi M., Cheikh M'Hamed H., Frijia A., 2019. Assessing the long-term impact of conservation agriculture on wheat-based systems in Tunisia using APSIM simulations under a climate change context. *Science of The Total Environment*, 692: 1223-1233.

(3) Louhaichi M., Slim S., Jilali K., 2020. *Field day on sulla cultivation using a participatory community-based approach*. Agricultural Research Knowledge, ICARDA. <https://hdl.handle.net/20.500.11766/12367>

(4) Rekik M., Idoudi Z., López Ridaura S., Frijia A., 2020. *Use of conservation agriculture in crop-livestock systems (CLCA) in the drylands for enhanced water use efficiency, soil fertility and productivity in NEN and LAC Countries*. Progress Highlights: Year II - April 2019 to March 2020. ICARDA, Lebanon. <https://hdl.handle.net/20.500.11766/11022>



▲ Les options d'intégration culture-élevage (CLIO) groupées en fonction de l'échelle de mise en œuvre et des ressources.

## OasYs, un système bovin laitier agroécologique adapté au changement climatique du Nord de l'Europe

L'élevage laitier doit faire face, comme l'ensemble de l'agriculture, aux nouveaux défis du XXI<sup>e</sup> siècle, en particulier la nécessité de s'adapter au changement climatique tout en assurant la transition énergétique et la préservation des ressources naturelles. Pour répondre à ces nouveaux enjeux, un système bovin laitier nommé OasYs a été entièrement conçu avec de multiples partenaires du monde agricole, en suivant les principes de l'agroécologie. Il vise à permettre aux éleveurs(SES) du Nord de l'Europe de vivre de leur système laitier dans un contexte de contraintes et d'aléas climatiques, en économisant les ressources en eau et en énergie fossile, tout en contribuant à une agriculture durable. Le système fourrager est basé sur le pâturage tout au long de l'année, de ressources

fourragères diversifiées (y compris les arbres) et le développement des légumineuses. La stratégie d'élevage vise à mettre en phase les besoins des animaux avec la disponibilité en fourrages pâturés, ainsi qu'à limiter les périodes improductives et les problèmes sanitaires au cours de la carrière de la vache. Pour cela, deux périodes de vêlage centrées sur le printemps et l'automne ont été mises en place, les lactations ont été allongées à 16 mois et un croisement rotatif à trois races (Holstein, Rouge Scandinave, Jersey) a été initié. Ce nouveau système est testé grandeur nature (72 vaches laitières, 90 ha) depuis fin 2013 à Lusignan (Vienne, France)\*. Nous étudions dans quelle mesure une plus grande diversité des composantes d'un système agricole et de leurs fonctions, associée à leur gestion optimale dans le temps et dans

l'espace, peut concilier un niveau de production et des performances environnementales élevées, et améliorer la résilience de l'agrosystème face aux aléas climatiques. Pour cela, le système est évalué à la fois sur ses performances de production et aux niveaux environnemental, économique et social. Les premiers résultats sont encourageants : **la diversité des ressources pâturées permet d'allonger la période de pâturage ; l'augmentation des taux de matières grasses et protéiques compense la diminution de production laitière ; le système permet de rétribuer 1,5 unités de main d'œuvre à hauteur de deux SMIC (données 2018)\*\*.**

\* Test réalisé sur l'unité expérimentale « Fourrages, ruminants et environnement » (Ferlus) d'INRAE.

\*\* Salaire minimum de croissance, calculé sur le Smic horaire brut de 9,88 € (valeur 2018).

### Contacts

Sandra Novak (Ferlus, INRAE, France),  
sandra.novak@inrae.fr

Franck Chargelègue (Ferlus, INRAE, France),  
franck.chargelegue@inrae.fr

Guillaume Audebert (Ferlus, INRAE, France),  
guillaume.audebert@inrae.fr

### Plus d'informations

• Novak S., Audebert G., Chargelègue F., Emile J.-C., 2018. Sécuriser un système laitier avec des fourrages économes en eau et en énergie fossile. *Fourrages*, 233: 27-34.  
<https://afpf-asso.fr/revue/securiser-son-systeme-d-elevage-avec-des-fourrages-complementaires-meteils-deroebes-cruciferes-i?i=2154>

• Novak S., Chargelègue F., Chargelègue J., Audebert G., Liagre F., Fichet S., 2020. Premiers retours d'expérience sur les dispositifs agroforestiers intégrés dans le système laitier expérimental OasYs. *Fourrages*, 242: 71-78.

• Novak S., Barre P., Delagarde R., Mahieu S., Niderkorn V., Emile J.-C., 2020. Composition chimique et digestibilité *in vitro* des feuilles d'arbre, d'arbuste et de liane des milieux tempérés en été. *Fourrages*, 242: 35-47.

◀ OasYs, un système laitier agroécologique adapté au changement climatique, basé sur la diversité.

© S. Novak/Ferlus



## Évolution de la vulnérabilité des exploitations laitières lors de la conversion à l'agriculture biologique

Dans le contexte de la crise européenne du secteur laitier conventionnel faisant suite à la suppression des quotas laitiers, de nombreuses exploitations conventionnelles se sont converties à l'agriculture biologique. Cela a soulevé la question de la vulnérabilité de ces exploitations pendant et après la conversion, c'est-à-dire leur capacité à faire face aux risques techniques, climatiques et économiques. Notre objectif était de montrer si et comment la vulnérabilité des exploitations laitières peut diminuer pendant et après la conversion à l'agriculture biologique. En partenariat avec les chambres d'agriculture locales et les associations d'agriculteurs biologiques, nous avons enquêté auprès d'exploitations laitières des régions de Bretagne et d'Aveyron (France) depuis leur dernière année de production conventionnelle jusqu'à leur première année complète de production biologique. Nous avons considéré la vulnérabilité

des exploitations en fonction du niveau initial et de l'évolution des variables techniques et économiques des exploitations (productivité laitière permise par les ressources alimentaires produites sur l'exploitation, efficacité économique, rentabilité nette par travailleur et indépendance vis-à-vis des subventions de la politique agricole commune européenne) et de la satisfaction des agriculteurs. Nous avons utilisé des régressions par moindres carrés partiels pour relier ces variables de vulnérabilité avec des variables explicatives illustrant l'exposition des exploitations à la variabilité climatique et économique (par exemple, le prix du lait, la différence moyenne quotidienne entre précipitation et évapotranspiration) et les changements de pratiques agricoles (par exemple, l'utilisation des surfaces agricoles, le temps de pâturage, le niveau de complément alimentaire des animaux).

suviv.



▲ Portraits d'agriculteurs, de conseillers et de chercheurs impliqués dans le projet.

© M. Bouttes, A. Mansat

Les résultats ont révélé que, dans la plupart des cas, la conversion à l'agriculture biologique améliore l'efficacité économique des exploitations, la productivité laitière permise par les ressources alimentaires produites sur l'exploitation et la rentabilité par travailleur. Dans l'ensemble, tous les agriculteurs étaient satisfaits après la conversion à l'agriculture biologique. Toutes les stratégies de conversion observées étaient orientées vers des systèmes basés sur les prairies et le pâturage, et une gestion moins intensive des surfaces et du troupeau. Les exploitations qui, lorsqu'elles étaient conventionnelles, étaient basées sur la culture du maïs pour l'ensilage et sur l'achat de concentrés alimentaires, sont celles qui ont changé le plus radicalement et ont le plus bénéficié du processus de conversion, avec la plus grande diminution de la vulnérabilité.

En montrant une augmentation marquée de la satisfaction des agriculteurs au cours du processus de conversion à l'agriculture biologique, nos résultats contrastent fortement avec les études précédentes qui soulignaient les risques multiples

de cette conversion. Nous concluons que le changement des pratiques agricoles par la conversion à l'agriculture biologique peut être un mécanisme puissant pour réduire la vulnérabilité des exploitations.

**Contact**

Guillaume Martin (Agris, INRAE, France), [guillaume.martin@inrae.fr](mailto:guillaume.martin@inrae.fr)

**Plus d'informations**

- Bouttes M., Bancarel A., Doumayzel S., Viguié S., San Cristobal M., Martin G., 2020. Conversion to organic farming increases dairy farmers' satisfaction independently of the strategies implemented. *Agronomy for Sustainable Development*, 40: 12.
- Bouttes M., Bize N., Maréchal G., Michel G., San Cristobal M., Martin G., 2020. Conversion to organic farming decreases the vulnerability of dairy farms. *Agronomy for Sustainable Development*, 39: 19.

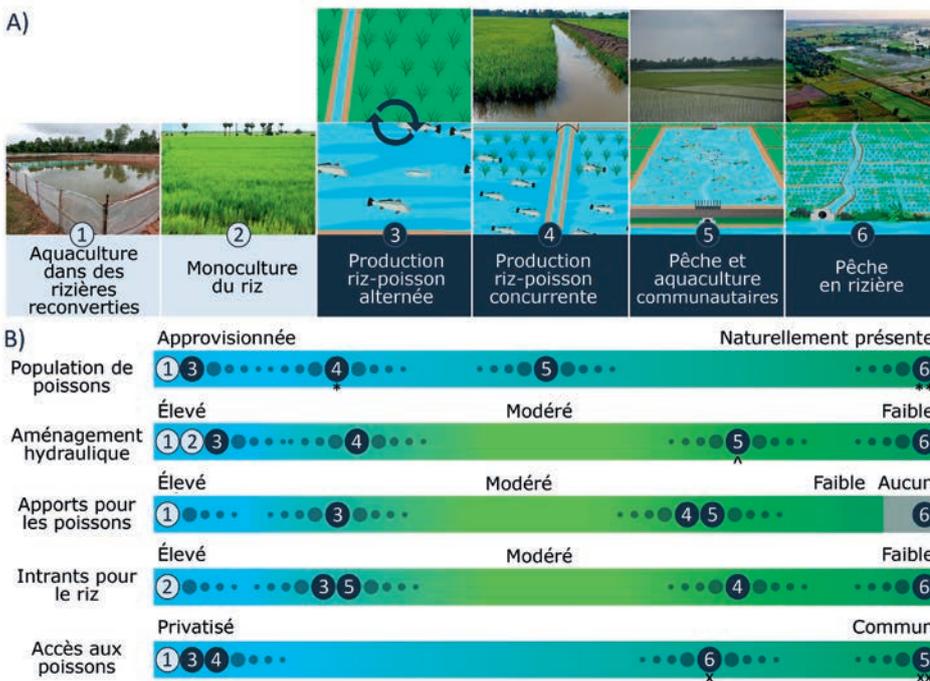
- Bouttes M., Darnhofer I., Martin G., 2019. Converting to organic farming as a way to enhance adaptive capacity. *Organic Agriculture*, 9: 235-247.
- Bouttes M., Mansat A., Martin G., 2019. Portraits d'éleveurs en conversion à l'agriculture biologique (vidéos) : [www.psd-r-occitanie.fr/BOITE-A-OUTILS/Videos/Temoignages-d-eleveurs-en-conversion-a-l-AB](http://www.psd-r-occitanie.fr/BOITE-A-OUTILS/Videos/Temoignages-d-eleveurs-en-conversion-a-l-AB)

## Des dimensions agroécologiques de la production riz-poisson à l'adaptabilité des systèmes alimentaires

Le riz et le poisson sont des aliments de prédilection, essentiels à une alimentation saine et nutritive, et constituent les bases des économies locales et nationales dans toute l'Asie. Au cours du dernier demi-siècle, l'agriculture et l'aquaculture sont devenues des monocultures intensifiées uniquement axées sur l'augmentation de la production de riz et de poisson. Cependant, les approches agroécologiques, qui maintiennent la biodiversité et utilisent les processus naturels, peuvent contribuer à transformer les systèmes alimentaires grâce à des résultats plus inclusifs, sensibles à la nutrition et respectueux de l'écologie. La production de riz et de poisson est souvent intégrée dans les mêmes espaces physiques, temporels et sociaux, avec des variations en termes de pratiques de production et de leur prévalence. Au Cambodge, la pêche dans les rizières, qui repose

sur des processus naturels, est pratiquée dans près de 80 % des zones rizicoles et comprend au moins 150 espèces aquatiques, tandis que la culture de crevettes, qui dépend davantage des intrants et des infrastructures, est de plus en plus populaire dans les zones rizicoles du Vietnam. Une nouvelle typologie différencie les pratiques de production intégrée selon la nature et le degré d'application des principes agroécologiques (par exemple le recyclage, la réduction des intrants, la biodiversité, la synergie et la gouvernance des ressources naturelles) sur (i) l'empoisonnement ; (ii) la gestion de l'eau ; (iii) l'utilisation d'intrants de synthèse ; et (iv) les institutions qui contrôlent l'accès aux poissons (figure). Une analyse de la façon dont les pratiques de production intégrée riz-poisson ont évolué en fonction des changements des systèmes alimentaires associés à la Révolution

verte au Bangladesh, au Cambodge, au Vietnam et au Myanmar, a montré que ces pratiques continuent de remplir une série d'objectifs à des degrés divers, notamment la sécurité alimentaire et nutritionnelle, la diversification des moyens de subsistance, l'augmentation des revenus et la conservation de la biodiversité<sup>(1)</sup>. **Nous recommandons de modifier les politiques régionales pour qu'elles reconnaissent et soutiennent les diverses approches, locales et agroécologiques, de la production alimentaire.** La mise en œuvre réussie de ces changements de politique devrait accélérer les progrès vers la réalisation de l'ODD 2 « Faim zéro », tout en assurant le maintien des écosystèmes, une production alimentaire durable et des pratiques agricoles résilientes capables d'adaptation aux changements globaux.



**▲ Typologie des pratiques de production de riz-poisson.**

A. Illustrations et photos des quatre exemples (3-6) et leurs références en monoculture (1,2).

B. Les différents types selon l'utilisation d'attributs agroécologiques le long d'un continuum de contrôle et de substitution des processus naturels (d'élevé à faible).

\*Peut inclure quelques-unes naturellement présentes.

\*\*Peut inclure un certain empoisonnement.

^ Le contrôle de l'eau est faible pendant la mousson et la production de poissons, mais l'irrigation est utilisée pendant la saison sèche pour la riziculture.

x Peut inclure la privatisation des poissons restant dans les bassins à l'intérieur des rizières après la décrue.

xx Biens communs pour la pêche de petits poissons sauvages, accès partagé contractuel pour les poissons d'élevage et sauvages.

**Contacts**

Sarah Freed (WorldFish, CGIAR, Cambodge), [s.freed@cgiar.org](mailto:s.freed@cgiar.org)

Matthew McCartney (IWMI, CGIAR, Sri Lanka), [m.mccartney@cgiar.org](mailto:m.mccartney@cgiar.org)

Fergus Sinclair (ICRAF, CGIAR, Kenya/Université de Bangor, Royaume-Uni), [f.sinclair@cgiar.org](mailto:f.sinclair@cgiar.org)

**Plus d'informations**

- (1) Freed S., Barman B., Dubois M., Flor R., Funge-Smith S., Gregory R., Hadi B., Halwart M., Haque M., Jagadish K., Joffre O., Karim M., Kura Y., McCartney M., Mondal M., Nguyen V.K., Sinclair F., Stuart A.M., Tezzo X., Yadav S., Cohen P.J., 2020. Maintaining diversity of integrated rice and fish production confers adaptability of food systems to global change. *Front. Sustain. Food Syst.* 4:576179. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.576179>

## Des leviers paysagers pour renforcer les services de régulation naturelle des bioagresseurs en France

Le service de régulation naturelle des bioagresseurs résulte d'interactions trophiques entre des organismes souvent mobiles dans les paysages. Son intensité sur une parcelle à un moment donné dépend des actions de gestion mises en œuvre localement, mais aussi de celles réalisées sur d'autres portions de l'espace agricole, sur une même période ou sur d'autres pas de temps. Les leviers pour accroître ce service doivent ainsi se considérer à plusieurs échelles d'espace et de temps. C'est ce principe qui a guidé la mise en place de dispositifs de recherche sur le service de régulation dès 2014 en France, avec un suivi à long terme et qui prend explicitement

en compte les propriétés du paysage environnant les parcelles qui font l'objet de monitoring. Les données collectées sur 120 parcelles de cultures annuelles et pérennes, localisées dans cinq régions françaises sur plusieurs années et sur plusieurs types de bioagresseurs (proies sentinelles) ont permis de mettre en évidence un effet générique de leviers paysagers sur les niveaux de régulation observés. Les analyses révèlent aussi que **l'effet de ces leviers paysagers est plus ou moins important en fonction de la gestion agricole qui est mise en place dans la parcelle où sont réalisés les suivis. Le service de régulation**

**augmente quand les habitats semi-naturels sont plus nombreux, quand les cultures annuelles sont plus diversifiées ou quand la proportion d'agriculture biologique dans le paysage s'accroît, cet effet tendant à être plus important quand l'utilisation de pesticides sur la parcelle focale est limitée.** Sur la base de ces résultats, des scénarios de modifications de pratiques à l'échelle du paysage sont actuellement développés avec les acteurs de chaque territoire étudié et seront mobilisés pour prédire les options de gestion paysagère autorisant les meilleurs gains en termes de régulation naturelle des bioagresseurs.



▲ Paysages. © INRAE

◀ *Poecilus cupreus* s'attaquant à des pucerons. © INRAE

◀ *Ceufs de lépidoptères* sur du blé. © INRAE

### Contact

Sandrine Petit (Agroécologie, INRAE, France), sandrine.petit-michaut@inrae.fr

### Plus d'informations

- Petit S., Muneret L., Carbonne B., Hannachi M., Ricci B., Rusch A., Lavigne C., 2020. Landscape-scale expansion of agroecology to enhance natural pest control: a systematic review. *Advances in Ecological Research*, 63. <https://doi.org/10.1016/bs.aecr.2020.09.001>.
- Ricci B., Lavigne C., Alignier A., Aviron S., Biju-Duval Bouvier J. C., Choisis J.-P., Franck P., Joannon A., Ladet S., Mezerette F., Plantegenest M., Savary G., Thomas C., Vialatte A., Petit S., 2019. Local pesticide use intensity conditions landscape effects on biological pest control. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.*, 286. <https://doi.org/10.1098/rspb.2018.2898>
- Réseau national Sebiopag (réseau pour l'étude des services écosystémiques assurés par la biodiversité dans les paysages agricoles) : <https://sebiopag.inrae.fr>

## Tirer parti des processus connaissances écologiques pour restaurer la production bananière dans les zones touchées par la BBTD en Afrique subsaharienne

### Lignes directrices et nouveaux défis scientifiques

Les communautés rurales de 14 pays d'Afrique subsaharienne ont abandonné la production de bananes en raison de la maladie de bunchy top du bananier (BBTD) causée par le virus BBTV (pour *banana bunchy top virus*). La BBTD est efficacement transmise par le puceron du bananier (*Pentalonia nigronervosa*) et se propage par les rejets asymptomatiques infectés. Aucune source de résistance n'est connue pour une utilisation potentielle en substitution de cultivars ou en sélection. Cependant, l'écologie bien documentée des pucerons du bananier a fourni un point de départ pour tester une approche agroécologique afin de récupérer la production de bananes perdue à cause de la BBTD. Tout d'abord, les pucerons se nourrissent presque exclusivement sur les touffes de bananes, ce qui suggère qu'une éradication large de la touffe pendant 2 à 3 mois dans la zone où la

BBTD est présente, pourrait minimiser les sources locales de nouvelle infection. Deuxièmement, l'utilisation de matériel de plantation exempt de BBTV éviterait l'introduction de nouvelles contagions. Troisièmement, les déplacements des pucerons chutent brusquement entre 50 et 100 m. Ainsi, une zone tampon sans bananier de cette largeur autour des parcelles à replanter minimiserait les invasions de pucerons.

Depuis 2014, des scientifiques de Bioversity International et IITA (centres CGIAR), du Cirad et d'instituts nationaux de huit pays subsahariens, ont travaillé avec des communautés pilotes sur trois systèmes bananiers – jardins pérennes, rotations avec des jachères arbustives ou forestières – avec plus de 50 cultivars cultivés.

suiv. 

### Contacts

Aman Omondi (Alliance of Bioversity International and CIAT, Bénin), a.a.omondi@cgiar.org

Marie-Line Iskra-Caruana (DGD-RS, Direction générale déléguée à la recherche et à la stratégie, Cirad, France), marie-line.caruana@cirad.fr

C. Staver (Université Veracruzana), stavercep.colint@gmail.com

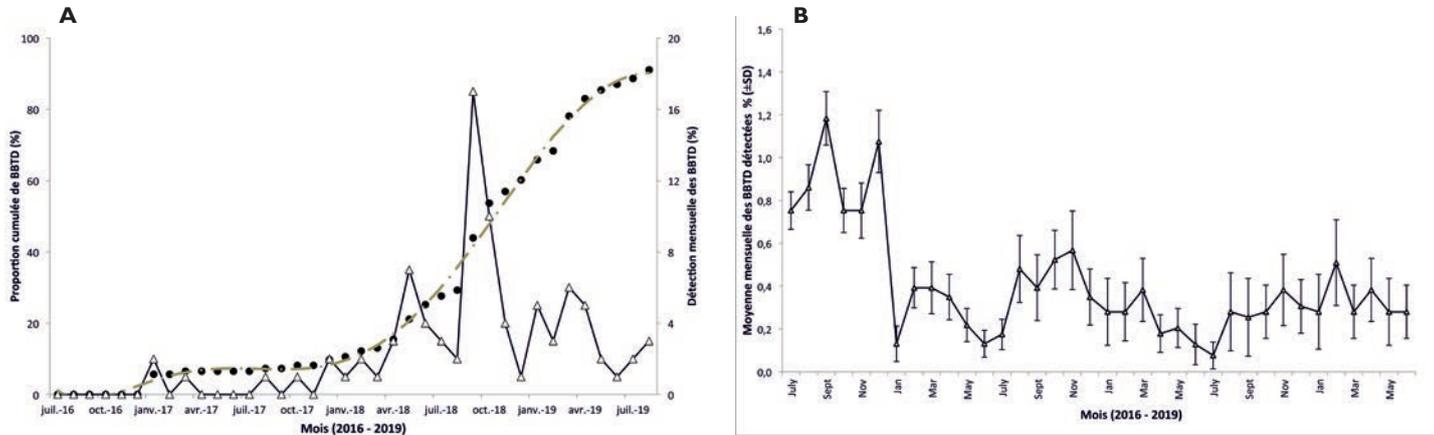
### Plus d'informations

- Ajambo S., Rietveld A., Nkengla L.W., Omondi B.A., Niyongere C., Dheda B.D. et al., 2018. Recovering banana production in banana bunchy top-affected areas in sub-Saharan Africa: developing gender-responsive approaches. *Acta Horticulturae*, 1196: 219-228.
- Lepoint P., 2016. *Recovering banana production in BBTD affected areas: Strengthening cross-site learning tools in epidemiology, gender and social relations, and participatory experimentation approaches*. CGIAR Research Program in Roots, Tubers and Bananas (RTB). RTB End of Project Workshop Report 2016. Lima: CGIAR.
- Omondi B.A., Soko M.M., Nduwimana I. et al., 2020. The effectiveness of consistent roguing in managing banana bunchy top disease in smallholder production in Africa. *Plant Pathology*, 1754-176600:1-13. <https://doi.org/10.1111/ppa.1325>

Quatre résultats ont émergé comme lignes directrices à appliquer dans les projets de restauration de la production bananière : (i) la mise en œuvre rigoureuse du modèle complet basé sur l'écologie du puceron du bananier a permis de réduire les taux de réinfection des cultures de bananes, d'augmenter les rendements et un plus grand nombre de rejets exempts de BBTD ; (ii) l'engagement des communautés et des ménages – hommes et femmes de générations différentes – et la compréhension de cette gestion écologique, ont conduit à une

pression plus efficace des pairs pour un suivi plus rigoureux et un contrôle plus efficace de la BBTD ; (iii) différentes options de production de semences – culture de tissus et macro-propagation à partir de matériel exempt de virus, approvisionnement en rejets provenant de zones exemptes de la BBTD et de parcelles restaurées – répondent à la demande de la communauté en matière de diversité des semences de cultivars ; et (iv) la détection précoce rigoureuse des symptômes initiaux de la BBTD et l'élimination des plantes infectées dans les parcelles

replantées, ont contribué à des niveaux de maladie très bas et à la disponibilité de rejets à faible risque pour de nouvelles plantations. D'autres études sont nécessaires sur l'expression et la détection précoces des symptômes sur les cultivars locaux, sur les stratégies d'intensification écologique pour une plus grande productivité afin de soutenir le processus de restauration des cultures, et sur la diversité des paysages afin de renforcer l'efficacité des zones tampons et d'enrayer la prolifération de la BBTD et des pucerons.



▲ L'incidence (%) de la BBTD est passée en 3 ans de 2 % à une infestation totale dans une parcelle expérimentale non gérée (fig. A). Grâce à l'élimination par une coopérative d'agriculteurs, le taux initial de la maladie de 5 % a été réduit et maintenu en dessous de 2 % pendant 3 ans (fig. B). D'après Omondi et al. (2020)

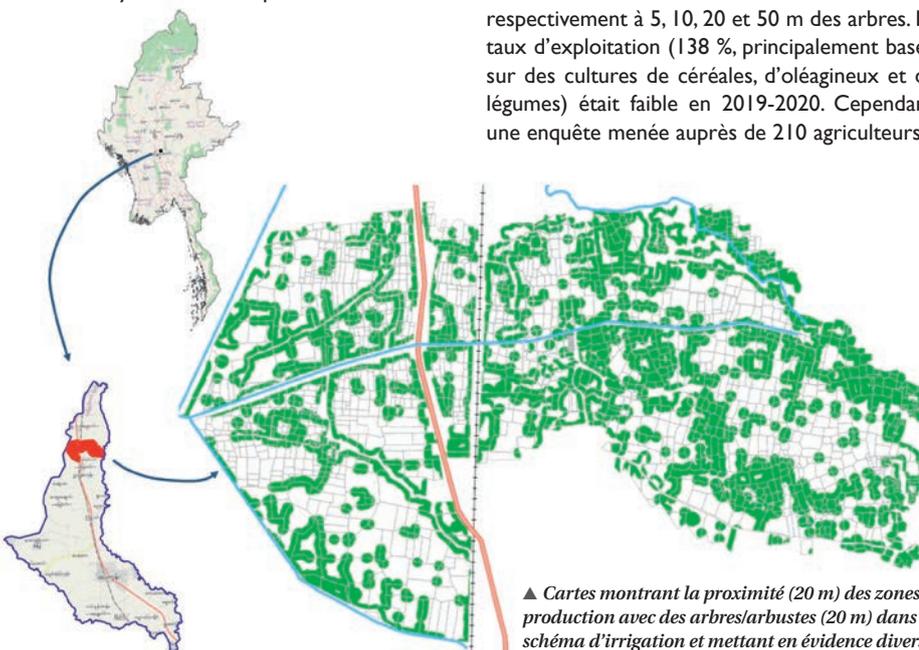
## Caractériser le paysage et la diversité des systèmes alimentaires pour analyser les compromis et guider la transition des systèmes agroalimentaires au Myanmar

La croissance économique, l'utilisation des terres et les moyens de subsistance sont étroitement liés. Le Myanmar - avec 28,5 millions d'hectares de forêts, soit environ 42 % de sa superficie totale - est l'un des plus grands pays d'Asie du Sud-Est à ne pas connaître l'intensification agricole. L'agriculture et les pratiques agroforestières étant les activités de subsistance dominantes des petits exploitants agricoles, ce pays se situe à la croisée de la transition de l'utilisation des terres, de l'intensification agricole et de la dégradation de l'environnement. Alors que de nombreux pays ont perdu d'importantes superficies forestières et leur biodiversité, le Myanmar pourrait parvenir à un équilibre entre le bien-être de l'homme et de l'écosystème en adoptant une démarche

agroécologique pour guider la transition des systèmes agroalimentaires.

En collaboration avec l'Agence suisse pour le développement et la coopération, nous avons caractérisé le paysage et la diversité des systèmes alimentaires, analysé les synergies entre les fonctions écosystémiques et développé des voies pour la transition des systèmes alimentaires. Nous avons suivi un bassin versant afin d'appréhender le taux d'exploitation, la couverture du sol, la proximité aux arbres et les perceptions de la communauté sur les services écosystémiques. Des cartes (~ 339 ha) ont mis en évidence la proximité des zones de production agricole et des arbres : 13 %, 25 %, 49 % et 89 % de ces zones se situent respectivement à 5, 10, 20 et 50 m des arbres. Le taux d'exploitation (138 %, principalement basée sur des cultures de céréales, d'oléagineux et de légumes) était faible en 2019-2020. Cependant, une enquête menée auprès de 210 agriculteurs a

mis en évidence respectivement 13 et 6 groupes fonctionnels d'espèces végétales et animales que les agriculteurs jugeaient bénéfiques. Les agriculteurs cultivaient jusqu'à 31 espèces différentes, illustrant ainsi les possibilités de diversification. La plupart des agriculteurs ont identifié l'approvisionnement en nourriture comme un service écosystémique majeur (nourriture-61 %, ressources médicinales-20 %, bétail-3 %) ; ils ont également cité les services culturels (9 %) et de régulation (5 %). Une grande partie de la nourriture provenait des arbres. Une plus grande diversification des systèmes agroalimentaires nécessitera des changements dans l'ensemble des chaînes de valeur soutenues par de nouvelles dispositions institutionnelles et politiques. **Le Myanmar pourra ainsi améliorer la résilience de ses communautés agricoles. Cette évaluation fournit un cadre d'aide aux décisions concernant la diversification vers une transition agroécologique réussie au Myanmar.**



▲ Cartes montrant la proximité (20 m) des zones de production avec des arbres/arbustes (20 m) dans un schéma d'irrigation et mettant en évidence divers bénéfices potentiels des systèmes mixtes arbres-cultures.

### Contacts

Sudhir Yadav (IRRI, CGIAR, Philippines), [s.yadav@irri.org](mailto:s.yadav@irri.org)  
 Rica Joy Flor (IRRI, CGIAR, Cambodge), [r.flor@irri.org](mailto:r.flor@irri.org)  
 Arnel Rala (IRRI, CGIAR, Philippines), [a.rala@irri.org](mailto:a.rala@irri.org)

### Autres auteurs

Amy Thein et Jon Hellin (IRRI, CGIAR, Myanmar et Philippines respectivement)  
 Delia Catacutan (ICRAF, CGIAR, Philippines)

### Plus d'informations

- FAO, 2018. *The 10 Elements of agroecology guiding the transition to sustainable food and agricultural systems*. Food and Agriculture Organization, Rome.
- MOALI, 2018. *Myanmar agriculture development strategy and investment plan 2018-2023*. Ministry of Agriculture, Livestock and Irrigation, Nay Pyi Daw.

## Mieux gérer collectivement les services écosystémiques des espaces semi-naturels des paysages ruraux dans le sud de la France

Grâce à des travaux conduits depuis plusieurs décennies dans les coteaux de Gascogne, au sein de la zone-atelier Pygar (Pyrénées-Garonne), le collectif interdisciplinaire de recherche de Dynafor a mis en évidence certains rôles importants des espaces semi-naturels (haies, bois, prairies permanentes, etc.) et de la diversité de la mosaïque des cultures, sur la biodiversité dans les paysages agricoles. Une partie de cette biodiversité, dite « auxiliaire », rend aussi des services aux agriculteurs, comme la régulation de certains bioagresseurs et la pollinisation.

Les effets, directs et indirects, de l'intensité des pratiques agricoles conventionnelles et du contexte paysager sur plusieurs indicateurs de biodiversité et des niveaux de services écosystémiques (contrôle biologique, pollinisation), ainsi que sur le rendement, ont été récemment analysés dans 54 parcelles de grandes cultures. Si le recours aux pesticides et le travail du sol soutiennent directement les rendements, leurs effets s'avèrent négatifs sur la biodiversité et les services écosystémiques mesurés dans ces parcelles, entraînant des effets

indirects négatifs sur les rendements. **Ces effets indirects des pratiques conventionnelles sur les rendements peuvent réduire de moitié les effets bénéfiques directs mesurés.** Par ailleurs, **la biodiversité mesurée ne dépend pas seulement des pratiques appliquées au niveau de la parcelle, mais aussi de l'organisation spatiale des paysages : elle est favorisée par la proportion en habitats semi-naturels, une taille réduite des parcelles et une plus grande diversité des cultures.**

Pour mieux gérer ces facteurs et valoriser les services écosystémiques mobilisables pour une production agroécologique, une gestion collective des assolements et des modalités de gestion des espaces semi-naturels serait utile. Ceci implique des processus de collaboration entre les acteurs qui façonnent ces paysages. Des recherches en sciences sociales sont menées en partenariat avec ces acteurs pour cerner les verrous et leviers de tels processus. Les outils de télédétection offrent également des données très utiles à ces niveaux d'organisation étendus.

### Contacts

Marc Deconchat (Dynafor, INRAE, France), marc.deconchat@inrae.fr

Aude Vialatte (Dynafor, INRAE, France), aude.vialatte@inrae.fr

### Autres auteurs

Cécile Barnaud, Annie Ouin, David Sheeren, Diane Esquerré, Clélia Sirami (Dynafor, France)

### Plus d'informations

• Barnaud C., Corbera E., Muradian R., Salliou N., Sirami C., Vialatte A., Choisis J.P., Dendoncker N., Mathevet R., Moreau C., Reyes-García V., Boada M., Deconchat M., Cibien C., Garnier S., Maneja R., Antona M., 2018. Ecosystem services, social interdependencies, and collective action: a conceptual framework. *Ecology and Society*, 23.

• Duflot R., San-Cristobal M., Andrieu E., Choisis J.-P., Esquerré D., Ladet L., Ouin A., Rivers-Moore J., Sheeren D., Sirami C., Fauvel M., Vialatte A., 2022. Farming intensity indirectly reduces crop yield through negative effects on agrobiodiversity and key ecological functions. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 326: 107810. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107810>

• Sirami C., Gross N., Baillod A.B. et al., 2019. Increasing crop heterogeneity enhances multitrophic diversity across agricultural regions. *PNAS*, 116: 16442-16447.

• Vialatte A., Barnaud C., Blanco J., Ouin A., Choisis J.-P., Andrieu E., Sheeren D., Ladet S., Deconchat M., Clément F., Esquerré D., Sirami C., 2019. A conceptual framework for the governance of multiple ecosystem services in agricultural landscapes. *Landscape Ecology*, 34: 1653-1673.



◀ Les paysages agricoles des Vallées et Coteaux de Gascogne (zone-atelier Pygar) présentent une mosaïque de grandes cultures, de prairies, de haies et de petites forêts.

La topographie impose un gradient de paysages depuis les vallées avec les plus grandes parcelles et les coteaux avec de plus petites parcelles davantage associées à des bois et des prairies permanentes.



▲ Des méthodes semi-expérimentales sont employées pour évaluer dans des parcelles agricoles des niveaux de contrôle biologique de bioagresseurs et de pollinisation – (A) cartes de prédation, (B) phytomètres – qui sont reliés aux pratiques agricoles effectuées sur ces parcelles et le contexte paysager. Des ateliers avec des agriculteurs et conseillers agricoles sont organisés autour de la problématique de l'organisation des paysages (taille des parcelles, diversité des cultures, prairies et habitats semi-naturels) et les conséquences en termes de services écosystémiques (C). DYNAFOR

## Des mises en défens pour restaurer les paysages en Éthiopie

La restauration des écosystèmes dégradés par des mises en défens est une pratique de plus en plus courante dans les Highlands éthiopiens. Les mises en défens sont des zones communales traditionnellement « libres d'accès », mais où la coupe de bois, le pâturage et d'autres activités agricoles sont désormais interdits ou strictement limités afin de promouvoir la restauration et la régénération naturelle (photo page suivante). La superficie totale couverte par les mises en défens augmente actuellement de 2 % par an et pourrait atteindre 5 à 7 millions d'hectares au début des années 2030. L'établissement de mises en défens dans différentes régions d'Afrique et d'Asie a favorisé la réhabilitation des parcours dégradés. Cette tendance à l'expansion des mises en défens est attribuable à leurs nombreux bénéfices : restauration des paysages dégradés, augmentation de la séquestration du carbone et

amélioration d'autres services écosystémiques. Cela rend possible la diversification - et donc l'amélioration - des moyens de subsistance, diminue l'érosion des sols et la perte de semences dans les terres agricoles situées en aval des mises en défens (photo page suivante), contribuant ainsi à stimuler la productivité agricole à moyen et long termes. Globalement, **grâce à leurs bénéfices cumulés dans un contexte agroécologique, les mises en défens peuvent contribuer à la résilience de l'environnement et des communautés en renforçant la production agricole à l'échelle des paysages\***. La principale transition agroécologique favorisée par l'établissement de mises en défens dans des écosystèmes dégradés est le passage d'un système de pâturage libre (c.-à-d. naturel) à un système « couper et emporter » (c.-à-d. un système agroécologique à forte intensité de connaissances/travail).

Bien que bénéfiques à long terme à l'échelle du paysage, les mises en défens empêchent les ménages et les communautés pauvres de poursuivre leurs activités, notamment le pâturage du bétail, et la perte des avantages économiques à court terme menace leur réussite. **L'équilibre entre pertes économiques immédiates à court terme et gains économiques et environnementaux à plus long terme, représente un défi pour de nombreuses activités agroécologiques.** L'adoption d'un modèle commercial identifiant de potentielles opportunités économiques pour améliorer les avantages immédiats des mises en défens (par exemple en intégrant l'apiculture, l'engraissement du bétail, etc.), pourrait permettre de combler le fossé entre restauration du paysage et services écosystémiques à long terme d'une part et, d'autre part, pertes économiques locales à court terme.

Les initiatives qui augmentent les revenus des petits exploitants gérant les mises en défens (par exemple, la mobilisation de ressources financières pour l'achat d'intrants et la participation significative de la communauté locale), et qui assurent la durabilité des petites entreprises (par exemple, un suivi régulier et un soutien technique, la facilitation des opportunités de marché dans la chaîne de valeur) sont essentielles pour le succès de cette démarche.

\* Selon la définition du HLPE (2019), les mises en défens se rapportent principalement aux principes agroécologiques 3 à 7 (c.-à-d. la santé des sols, la santé animale, la biodiversité, la synergie et la diversification des moyens de subsistance), mais, fait important, ils se rapportent également aux principes 8 (cocreation de connaissances) et 12 (gouvernance des terres et des ressources naturelles).

#### Contacts

Wolde Mekuria (IWMI, CGIAR, Éthiopie),  
w.bori@cgiar.org

Matthew McCartney (IWMI, CGIAR, Éthiopie),  
m.mccartney@cgiar.org

#### Plus d'informations

• HLPE, 2019. *Agroecological and other innovative approaches for sustainable agriculture and food systems that enhance food security and nutrition*. A report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security, Rome.

• Mekuria W., Gebregziabher G., Lefore N., 2020. *Exclosures for landscape restoration in Ethiopia: business model scenarios and suitability*. IWMI, Colombo, 62 p. (IWMI Research Report 175). <https://doi.org/10.5337/2020.201>



▲ *Restauration du paysage basée sur la mise en défens. La pente supérieure végétalisée est une zone de mises en défens.* © W. Mekuria

## Les systèmes sylvopastoraux pour restaurer les services écosystémiques et améliorer les moyens de subsistance dans les paysages amazoniens (cas de la Colombie)

L'Amazonie est l'une des régions les plus riches en espèces végétales et animales au monde, mais les changements rapides de l'utilisation des terres ont entraîné la dégradation d'importants services écosystémiques. Le principal défi dans le paysage amazonien est de savoir comment opérer un développement durable qui contribue à la fois à la sécurité alimentaire et au bien-être, tout en sauvegardant le capital naturel nécessaire à la gestion durable des paysages déboisés. L'Alliance Bioversity International-CIAT a mis en place des systèmes sylvopastoraux (SSP), conçus conjointement avec les agriculteurs, combinant connaissances scientifiques et locales, ainsi que les atouts, besoins et préférences des agriculteurs. **La mise en œuvre des SSP peut améliorer la productivité des terres et l'efficacité de l'utilisation des engrais, tout en libérant des surfaces pour la conservation et la restauration.** Les SSP améliorent la résilience en favorisant la diversification des cultures agricoles à l'aide de variétés fourragères et autres cultures locales, et en augmentant la disponibilité de l'eau au niveau régional, ce qui contribue à réduire la vulnérabilité à d'éventuels événements climatiques

extrêmes. En outre, les SSP améliorés à base de fourrage stimulent la macrofaune et la macroagrégation biogénique du sol tout en contribuant à la conservation de la biodiversité<sup>(3,4)</sup>.

suiv 



▲ *Système de production durable en Amazonie.* © N. Palmer

**Les SSP améliorent également les indicateurs socio-économiques à l'échelle de l'exploitation** en augmentant la production de lait jusqu'à 20 %, ce qui se traduit par une augmentation de 1 à 1,31 du rapport coût-bénéfice comparé au pâturage traditionnel. Même avec des densités de plantation d'arbres modérées, le potentiel de séquestration du carbone des SSP a été estimé à 5,8 Mg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup>,

ce qui, en plus de la réduction des émissions de méthane entérique, peut atténuer les émissions de GES de 2,6 Mg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup> comparé aux pratiques actuelles<sup>(1,2)</sup>. En validant les SSP sur le terrain et en évaluant leurs multiples bénéfices, les résultats de ces études ont contribué à des initiatives de coopération publique et internationale (par exemple Nama\*, napa\*, NDC\*, Sustainable Bovine Livestock

Policy\*) visant à renforcer l'utilisation durable des zones déboisées en Amazonie tout en réduisant la pression sur les forêts et les émissions de GES, et en améliorant la résilience et les moyens de subsistance des petits exploitants.

\*Mesures d'atténuation appropriées au niveau national, programmes d'action nationaux d'adaptation, contributions déterminées au niveau national, politique d'élevage bovin durable.

#### Contacts

Miguel Romero (Alliance of Bioversity International and CIAT, CGIAR, Colombie), m.a.romero@cgiar.org

Jacobo Arango (Alliance of Bioversity International and CIAT, CGIAR, Colombie), j.arango@cgiar.org

Marcela Quintero (Alliance of Bioversity International and CIAT, CGIAR, Colombie), m.quintero@cgiar.org

#### Plus d'informations

(1) Aynekulu E., Suber M., van Noordwijk M., Arango J., Roshetko J.M., Rosenstock T.S., 2020. Carbon storage potential of silvopastoral systems of Colombia. *Land*, 9(9): 309. <https://doi.org/10.3390/land9090309>

(2) Landholm D., Pradhan P., Wegmann P., Romero M., Suárez J., Kropp J., 2019. Reducing deforestation and improving livestock productivity: greenhouse gas mitigation potential of silvopastoral systems in Caquetá. *Environ. Res. Lett.*, 14(2019): 114007. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab3db6>

(3) Rodriguez L., Suárez J.C., Pulleman M., Guaca L., Rico A., Romero M., Quintero M., Lavelle P., 2021. Agroforestry systems in the Colombian Amazon improve the provision of soil ecosystem services. *Applied Soil Ecology*, 164: 103933. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.103933>

(4) Vazquez E., Teutscherova N., Lojka B., Arango J., Pulleman M., 2020. Pasture diversification affects soil macrofauna and soil biophysical properties in tropical (silvo)pastoral systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 302: 107083. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107083>

## Verdir les zones sèches agrosylvopastorales marginales au Moyen-Orient, en Afrique du Nord et dans la Corne de l'Afrique

**L**es sécheresses récurrentes et les pratiques non durables de gestion des ressources naturelles accélèrent la dégradation des terres et la désertification des zones agroécologiques sèches vulnérables. Le Moyen-Orient, l'Afrique du Nord et la Corne de l'Afrique sont parmi les régions les plus affectées, et les modèles de changement climatique prévoient une probable aggravation de la situation du fait de stress thermiques accrus et de sécheresses prolongées. Par ailleurs, les précipitations extrêmes erratiques et les inondations qui s'ensuivent, pourraient être plus fréquentes, ce qui aggraverait les conditions mais pourrait aussi constituer un moteur potentiel pour la recherche de solutions dans le contexte de dégradation des terres arides.

L'ICARDA, en collaboration avec des partenaires internationaux et nationaux et les communautés dans les zones arides, a développé des dispositifs de réhabilitation et de gestion durable des bassins versants agrosylvopastoraux, qui tirent parti des quelques aspects positifs de ces conditions générales menaçantes dans le but de favoriser la transition agroécologique. **Des interventions communautaires permettent de passer d'une approche au niveau de l'exploitation**

**individuelle à une approche intégrée des systèmes paysagers et agricoles, tout en favorisant des changements dans les perceptions locales et l'appréciation de la valeur des services écosystémiques.** En effet, une approche par bassin versant, incluant de multiples interventions de collecte des eaux de crue, est menée pour (i) intercepter l'excès d'eau (de crue) pour la stocker *in situ* dans les sols soumis à un stress hydrique, stimulant ainsi la croissance de la végétation indigène et cultivée, et (ii) atténuer la dégradation des terres sur site et en aval. Les stratégies communautaires de réhabilitation des bassins versants des hautes terres se font grâce à la micro-récupération mécanisée de l'eau<sup>(2)\*</sup> et la plantation d'espèces bien adaptées par réensemencement et/ou transplantation d'arbustes, améliorant ainsi la couverture des terres, la productivité et la résilience. L'agriculture locale irriguée en aval par les eaux de crue (ou *marabs*) est bien intégrée dans la gestion communautaire des bassins versants et améliore la production de céréales/légumineuses tout en produisant des aliments secs pour le bétail. La gestion des hautes terres fait revivre les systèmes de pâturage traditionnels via la mobilité des troupeaux et la prise en compte des stades physiologiques de la

végétation, des périodes de repos et des successions facilitées d'espèces clés. La combinaison de ces mesures réduit l'utilisation d'intrants agricoles et améliore la santé du bétail et du sol ainsi que la biodiversité. Les connaissances des agriculteurs locaux sont améliorées, ainsi que la capacité à tirer un revenu des services écosystémiques résilients et diversifiés. La participation des communautés et la gouvernance sont essentielles pour soutenir ces interventions de réhabilitation. Les conditions socio-écologiques diffèrent beaucoup entre les zones potentiellement adaptées à ces approches communautaires de gestion des bassins versants. Les analyses *ex ante* du changement d'échelle renseignent sur l'échelle adéquate de mise en œuvre et les impacts potentiels que la technologie pourrait avoir sur les paysages. Ceci peut favoriser la discussion entre les parties prenantes concernées afin de renforcer les bénéfices pour les communautés locales, tout en luttant contre la désertification par le verdissement de vastes zones tampons vulnérables des zones arides.

\* Voir : [https://lqcat.wocat.net/en/wocat/technologies/view/technologies\\_5860/](https://lqcat.wocat.net/en/wocat/technologies/view/technologies_5860/)

#### Contacts

Stefan Strohmeier (ICARDA, CGIAR, Jordanie), s.strohmeier@cgiar.org

Mounir Louhaichi (ICARDA, CGIAR, Tunisie), m.louhaichi@cgiar.org

Mira Haddad (ICARDA, CGIAR, Jordanie), m.haddad@cgiar.org

#### Plus d'informations

(1) Sarcinella M., Strohmeier S., Haddad M., Yamamoto S., Evett S., Sterk G., 2020. Suitability of arid land rehabilitation technologies: simulation of water harvesting based solutions in Middle Eastern agro-pastures. Third Conference of the Arabian Journal of Geoscience (CAJG). Sousse, Tunisia, Nov 2-5, 2020 (Proceedings in print).

(2) Strohmeier S., Fukai S., Haddad M., Al Nsour M., Mudabber M., Akimoto K., Yamamoto S., Evett S., Oweis T., 2021. Rehabilitation of degraded rangelands in Jordan: the effects of mechanized micro water harvesting on hill-slope scale soil water and vegetation dynamics. *Journal of Arid Environments*, 185. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104338>

(3) Slim S., Louhaichi M., Gamoun M., Ates S., Hassan S., Ben Romdhane O., Ouled Belgacem A., 2021. Assessment of soil surface scarification and reseeded with *sulla* (*Hedysarum coronarium* L.) of degraded Mediterranean semi-arid rangelands. *African Journal of Range & Forage Science*. [www.tandfonline.com/doi/abs/10.2989/10220119.2020.1838608](http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.2989/10220119.2020.1838608)



▲ Gestion communautaire (pâturage du bétail) des zones agrosylvopastorales réhabilitées sur le site de recherche ICARDA de Badia (BRS) à proximité du village d'Al-Majidyya (Jordanie).

© K. Ibrahim Al Masardeh, communauté d'Al-Majidyya

# Renforcer la résilience par les services écosystémiques

## Transition vers des agroécosystèmes biodiversifiés

De l'analyse des processus à une co-conception multi-échelle avec les acteurs

La biodiversité végétale fonctionnelle peut être une des voies pour améliorer la transition agroécologique des agroécosystèmes dans les régions tropicales. Pour étudier l'efficacité de mobilisation et de gestion de cette biodiversité, un collectif a mené des recherches dans différents sites afin de couvrir une large gamme de contextes et de types de systèmes\*. **L'approche holistique développée a permis d'identifier les principaux mécanismes reliant la biodiversité aux services écosystémiques et de les hiérarchiser.** Ainsi, pour des systèmes agroforestiers complexes sur des sols relativement pauvres au Cameroun, la fonction de recyclage a été identifiée comme prépondérante. En revanche, la régulation des bioagresseurs prévaut sur des sols andins riches d'Amérique centrale. En outre, l'organisation spatiale

des parcelles et de la biodiversité est un levier pour maximiser les services. La qualité de ces services dépend également des effets dans le temps quand la biodiversité végétale est mobilisée en rotation (ex. du contrôle des adventices). **Un cadre générique d'analyse a été produit pour « démêler » de manière systémique les effets (directs ou indirects) de la biodiversité végétale sur le fonctionnement des agrosystèmes et, in fine, sur la fourniture de services écosystémiques.**

À l'échelle des communautés villageoises, les producteurs doivent être accompagnés, dans des dispositifs spécifiques de conception/adaptation, pour modifier leurs systèmes dans le sens d'une biodiversification. Des démarches expérimentales participatives ont été développées, s'appuyant

parfois sur des outils de facilitation (prospectives, jeux sérieux), pour renforcer les apprentissages et la co-construction de connaissances, et *in fine* donner plus d'autonomie aux producteurs dans ces démarches adaptatives. À l'échelle régionale, les acteurs influant sur les conditions de la mise en place de ces changements, ont été mobilisés dans des plateformes de co-innovations. Il s'agit de donner plus de place à la parole des producteurs et sensibiliser chaque acteur institutionnel de son rôle potentiel dans la transition. Les acteurs économiques (pour le lien aux marchés) et politiques (pour le poids des régulations) sont prépondérants pour faciliter l'adoption de systèmes agroécologiques biodiversifiés par les producteurs.

\* Projet STRADIV, System approach for the transition to bio-diversified agroecosystems : [www.agropolis-fondation.fr/STRADIV](http://www.agropolis-fondation.fr/STRADIV)



▲ Systèmes de riz pluvial sous couvert de Légumineuses (*Stylosanthes guianensis*) en rotations à Madagascar. © E. Scopel

### Contact

Éric Scopel (Aïda, Cirad, France), [eric.scopel@cirad.fr](mailto:eric.scopel@cirad.fr)

### Plus d'informations

- Andreotti F., Speelman E.N., Van den Meersche K., Allinne C., 2020. Combining participatory games and backcasting to support collective scenario evaluation: an action research approach for sustainable agroforestry landscape management. *Sustainability Science*, 15(5): 1383-1399.
- Resque A.G., Coudel E., Piketty M.G., Cialdella N., Sá T., Piraux M., ..., Le Page C., 2019. Agrobiodiversity and public food procurement programs in Brazil: influence of local stakeholders in configuring green mediated markets. *Sustainability*, 11(5): 1425.
- Sauvadet M., den Meersche K.V., Allinne C., Gay F., de Melo Virginio Filho E., Chauvat M., Becquer T., Tixier P., Harmand J.-M., 2019. Shade trees have higher impact on soil nutrient availability and food web in organic than conventional coffee agroforestry. *Science of the Total Environment*, 649: 1065-1074.

## Le défi de la co-conception d'agroécosystèmes poly-efficents fondés sur de solides principes techniques

La conception des agroécosystèmes (CAE) doit actuellement relever le **triple défi de la diversification, de l'atténuation et de l'adaptation au changement climatique, de la sécurité alimentaire**<sup>(1)</sup>, et tenir compte (i) des multiples processus qui soutiennent les services écosystémiques (SE) à différentes échelles – de la culture au paysage – et (ii) la diversité des personnes impliquées – des agriculteurs aux parties prenantes régionales<sup>(2)</sup>. Une telle complexité exige des changements de paradigmes importants par rapport à la manière dont la R&D a travaillé jusqu'à présent.

La CAE devrait être systématiquement fondée sur la caractérisation des **processus biophysiques**, en mettant l'accent sur leurs interactions à des échelles pertinentes, par exemple les types et les quantités de produits, la régulation des ravageurs et maladies, le cycle des nutriments.

► @ S. Saj/Cirad  
 ► @ Nijmeijer/Cirad  
 ► @ Notaro/Cirad



En outre, la CAE devrait également tenir compte des **processus de gestion** à l'échelle des cultures et de l'exploitation, par exemple le temps, l'espace et la trésorerie disponibles, les pratiques de terrain, les types et qualités de produits finis et leurs liens avec les chaînes de valeur. **L'intégration de ces données constitue une gageure et souvent un verrou** qui entravent l'utilisation durable des ressources disponibles (biophysiques ou managériales). Pourtant, la caractérisation de ces processus- au-delà de leur complexité - soulignent très souvent **des compromis** entre eux<sup>(3)</sup>. Ces compromis doivent être systématiquement discutés entre parties prenantes. Par ailleurs, lors de la mise en œuvre des initiatives de gestion agroécologique, **les objectifs et perceptions de ces parties** en matière de gestion agricole durable/écologique constituent **une autre série de verrous**. Par exemple, lors de la mise en œuvre de pratiques visant à stimuler le piégeage du carbone dans le sol, il est essentiel de relever des défis tels que le manque de connaissances, la difficulté accrue de mener des travaux sur le terrain, ou encore la gestion des risques et la pression sociale<sup>(4)</sup>. La R&D

s'efforce de s'attaquer à ces blocages pas à pas, et d'ouvrir la voie à l'intégration des connaissances locales, au soutien de la (co)innovation et à la mise en place d'expérimentations de terrain. Cette démarche implique de repenser à la fois la modélisation des agroécosystèmes et son intégration à des échelles multiples, tout en développant de nouvelles approches d'évaluation multicritères. De telles approches sont actuellement mises en œuvre dans un large éventail de projets\*.

**\* Projets :**

- COCOA4FUTURE, remettre l'humain et l'environnement au cœur de la cacao-culture de demain : <https://www.cirad.fr/espace-presse/communiqués-de-presse/2021/cacaoculture-agroforesterie-afrique-de-l-ouest>
- DSCATT, Agricultural intensification and dynamics of soil carbon sequestration in tropical and temperate agricultural systems : <https://dscatt.net/>
- BOOST, Plateforme collaborative pour la transition agroécologique : <https://boost.cirad.fr/fr/1/home.html>
- FAIR, L'intensification agroécologique pour la résilience des exploitations dans le Sahel: [www.fair-sahel.org/](http://www.fair-sahel.org/)
- STRADIV, System approach for the transition to biodiverse agroecosystems: <https://stradiv.cirad.fr/>
- ASSET, Agroecology and safe food system transitions in Southeast Asia : <https://ur-aida.cirad.fr/fr/nos-recherches/projets-et-expertises/asset>

**Contacts**

Stéphane Saj (Absys, Cirad, France), [stephane.saj@cirad.fr](mailto:stephane.saj@cirad.fr)  
Julien Demeois (Aida, Cirad, France), [julien.demeois@cirad.fr](mailto:julien.demeois@cirad.fr)

**Plus d'informations**

- (1) Saj S., Torquebiau E., Hainzlin E., Pages J., Maraux F., 2017. The way forward: an agroecological perspective for climate-smart agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 250: 20-24.
- (2) Corbeels M., Cardinael R., Naudin K., Guibert H., Torquebiau E., 2019. The 4 per 1000 goal and soil carbon storage under agroforestry and conservation agriculture systems in sub-Saharan Africa. *Soil and Tillage Research*, 188: 16-26.
- (3) Andreotti F., Mao Z., Jagoret P., Speelman E.N., Gary C., Saj S., 2018. Exploring management strategies to enhance the provision of ecosystem services in complex smallholder agroforestry systems. *Ecological Indicators*, 94: 257-265.
- (4) Demeois J., Torquebiau E., Arnould M.H., Eglin T., Masse D., Assouma M.H., Blanfort V., Chenu C., Chapuis-Lardy L., Medoc J.-M., Sall S.N., 2020. Barriers and strategies to boost soil carbon sequestration in agriculture. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4.

## Promesses et limites de l'agroécologie en Afrique subsaharienne

### Le cas des Hautes Terres malgaches

Trois voies d'écologisation de l'agriculture sont reconnues. L'agroécologie « des pratiques », vise à transformer les systèmes « conventionnels », mais sans affecter la gouvernance des systèmes agroalimentaires, ni l'objectif prioritaire de maximisation des volumes et des profits. L'intensification écologique des pratiques concerne

les systèmes n'ayant pas ou peu été touchés par la révolution verte. Enfin, l'agroécologie intégrale, ou « des systèmes et des territoires », plus politique, prône une rupture avec l'industrialisation et un objectif d'optimisation d'un ensemble de services, dans un équilibre systémique. Les perspectives de ces différentes voies sont présentées dans le cas des Hautes Terres centrales de Madagascar. Malgré un réel potentiel de développement, les politiques agricoles n'y ont eu que peu d'impacts, ni via l'intensification conventionnelle pourtant largement promue, ni via l'intensification écologique des pratiques.

Les régions d'Analamanga, d'Itasy, et du Vakinankaratra comptaient plus de 800 000 exploitations agricoles en 2018 contre 540 000 en 2005. La surface moyenne des exploitations agricoles familiales (EAF) a ainsi été divisée quasiment par deux (aujourd'hui moins de 1 ha). La faiblesse des ressources et actifs productifs est tellement limitante que les innovations agricoles sous forme de paquets techniques « simples » ont peu d'impacts. Pour avoir des impacts dans les EAF les mieux dotées, les innovations doivent porter

sur l'ensemble du système d'activités déjà très diversifié. Mais ces innovations sont insuffisantes si elles ne s'accompagnent pas d'une diversification économique des territoires. Dans le Moyen Ouest du Vakinankaratra, pourtant moins saturé, le développement agricole est contraint par des services de base non garantis (santé, éducation, circulation, équipement de marché et, surtout, sécurité). Ainsi, dans ces deux situations, **les réponses techniques ne sont pas des leviers suffisants. Les blocages structurels sont tels que l'on peut difficilement envisager d'évolution positive sans une action publique massive et coordonnée, à l'échelle des exploitations, des filières et des territoires. Les stratégies doivent alors se tourner vers une agroécologie intégrale, des systèmes et des territoires.** Ce n'est qu'une fois un environnement socio-économique favorable atteint que les solutions techniques offriront de réels leviers aux familles des Hautes Terres.

**Contacts**

Jean-Michel Sourisseau (Art-Dev, Cirad, France), [jean-michel.sourisseau@cirad.fr](mailto:jean-michel.sourisseau@cirad.fr)

Tahina Raharison (Professionnels de l'agroécologie, GSDM Madagascar/Montpellier SupAgro, France), [tahinarison@yahoo.fr](mailto:tahinarison@yahoo.fr)

**Autres auteurs**

Jean-François Bélières (Art-Dev, Cirad-Fofifa, Madagascar)  
Paulo Salgado (Selmet, Cirad, Sénégal)

**Plus d'informations**

- Sourisseau J.-M., Bélières J.-F., Marzin J., Salgado P., Maraux F., 2019. The drivers of agroecology in sub-Saharan Africa: an illustration from the Malagasy Highlands. In Côte F.-X. et al. (eds): *The agroecological transition of agricultural systems in the Global South*. Éd. Quae, Versailles: 179-197. [www.quae-open.com/produit/114/9782759230570/the-agroecological-transition-of-agricultural-systems-in-the-global-south](http://www.quae-open.com/produit/114/9782759230570/the-agroecological-transition-of-agricultural-systems-in-the-global-south)
- Rakotoarisoa J., Bélières J.F., Salgado P., 2016. *Intensification agricole à Madagascar : politiques publiques et trajectoires d'exploitations agricoles du Vakinankaratra*. Rapport de synthèse. Cirad-Fofifa, Antananarivo, 135 p. <https://agritrop.cirad.fr/583105/>



▲ Sur la route. © V. Lebourgeois/Cirad

# Des pratiques agroécologiques bénéfiques pour la société et les agriculteurs

## Exemple dans la région d'Itasy, Madagascar



▲ Paysage rural à Madagascar : agriculture et élevage. Imerintsiasika, Région d'Itasy, Madagascar. © T. Chevallier/IRD

Les projets de développement en milieu rural doivent être évalués avant d'engager les agriculteurs à grande échelle. Les données sur la durabilité des systèmes agricoles pour produire des aliments, améliorer les revenus des petits exploitants et réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) sont rares dans les pays d'Afrique. L'étude\* s'est appuyée sur un projet de développement rural à Madagascar, qui encourageait les pratiques agroécologiques : agroforesterie, compost et système d'intensification du riz (SRI). Les bénéfices potentiels de ce projet ont été quantifiés par trois indicateurs : le bilan GES, les bénéfices économiques pour les agriculteurs et l'efficacité des investissements économiques pour atténuer les GES. Ces indicateurs ont été projetés sur une période de 20 ans selon trois scénarios. Deux scénarios, différant par deux niveaux d'adoption des pratiques agroécologiques, ont été comparés à un scénario de référence, dans lequel il n'y avait pas d'intervention. Des données socio-économiques, de rendement et de sol ont été recueillies sur 192 exploitations agricoles pendant cinq saisons de croissance (2013-2018). Le bilan GES a été estimé

avec TropiC Farm Tool et EX-ACT. **Les émissions de GES ont été réduites dans les deux scénarios par rapport au scénario de référence : -5,2 à -13,6 tCO<sub>2</sub>eq ferme<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup> pour les scénarios 1 et 2 respectivement. La quantité de carbone économisée par euro investi a été estimée à -0,25 tCO<sub>2</sub>eq euro<sup>-1</sup> et -0,41 tCO<sub>2</sub>eq euro<sup>-1</sup> (soit 4 à 2,5 euros tCO<sub>2</sub>eq<sup>-1</sup>) dans le cadre des scénarios 1 et 2. La production agricole et la trésorerie des agriculteurs a augmenté au cours des 20 années.** Cette étude a mis en évidence le potentiel des pratiques agroécologiques pour améliorer la productivité et la rentabilité des systèmes agricoles des petits exploitants, tout en contribuant à l'atténuation du changement climatique. Elle alimente les actuelles discussions internationales sur la place de l'agriculture familiale dans l'agenda des solutions pour l'atténuation du changement climatique. Ce travail a été prolongé par la création d'une bande dessinée interactive de vulgarisation scientifique\*\*.

\* Cette étude a été menée avec le soutien du projet SoCa financé par la Fondation BNP Paribas.

\*\* « Une question à un million » : [www.carolinegaujourn.com/bd-ird](http://www.carolinegaujourn.com/bd-ird)

### Contacts

Narindra Rakotovoao (Laboratoire des Radioisotopes, université d'Antananarivo, Madagascar), [nanaharisoa2@yahoo.fr](mailto:nanaharisoa2@yahoo.fr)

Tiphaine Chevallier (Eco&Sols, IRD, France), [tiphaine.chevallier@ird.fr](mailto:tiphaine.chevallier@ird.fr)

Tantely Razafimbelo (Laboratoire des Radioisotopes, université d'Antananarivo, Madagascar), [tantely.razafimbelo@gmail.com](mailto:tantely.razafimbelo@gmail.com)

### Autres auteurs

Lydie Chapuis-Lardy (Eco&Sols, IRD, France)

Sylvain Deffontaines (Agrisud International, Madagascar)

Syndhia Mathe (Innovation, Cirad, France)

Mamonjiniaina Andriamirajo Ramarofidy, Tsifera Henintsoa Rakotoniamonjy et Adrien Lepage (Agrisud International, Madagascar)

Cargele Masso (IITA, CGIAR)

### Plus d'informations

Rakotovoao N.H., Chevallier T., Chapuis-Lardy L., Deffontaines S., Mathé S., Ramarofidy M.A., Rakotoniamonjy T.H., Lepage A., Masso C., Albrecht A., Razafimbelo T.M., 2020. Impacts on greenhouse gas balance and rural economy after agroecology development in Itasy Madagascar. *J. Clean. Prod.*, 291 : 125220. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125220>

▼ Fertilisation des sols par compostage, atelier de compostage. Imerintsiasika, Région d'Itasy, Madagascar.

© T. Chevallier/IRD

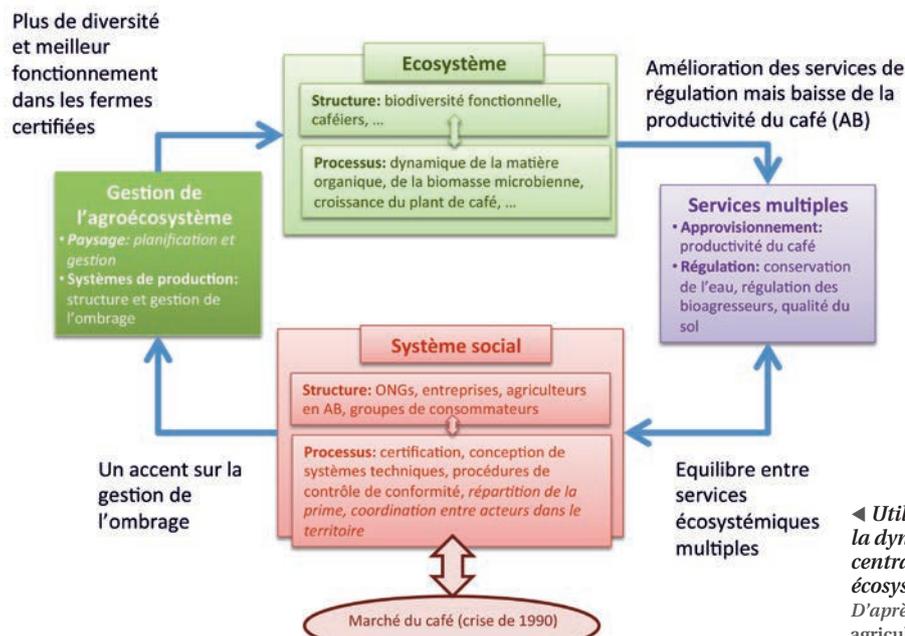


## Un cadre conceptuel pour la gestion des multiples services rendus par les agroécosystèmes

Afin de favoriser la recherche sur les services écosystémiques dans les agroécosystèmes, le métaprogramme EcoServ d'INRAE a proposé un cadre conceptuel à l'échelle du territoire agricole dans le but de développer des approches socio-écologiques pour faciliter la mise en œuvre d'une gestion des multiples services des agroécosystèmes. Ce cadre a été conçu sur trois bases fondamentales. **Premièrement, nous avons défini une nouvelle représentation symétrique de l'écosystème et du système social via leurs composantes structurelles et fonctionnelles** afin d'élargir le champ des interactions possibles entre ces systèmes. Les composantes structurelles de l'écosystème sont ses compartiments physiques, géochimiques et

biologiques, y compris la biodiversité domestique et sauvage. Les composantes fonctionnelles sont les processus biophysiques (cycles de l'eau et des nutriments, etc.) et les processus biologiques, qui impliquent les individus, les populations, les communautés et les méta-communautés. Les composantes structurelles du système social prennent en compte la diversité des parties prenantes individuelles (par exemple, les agriculteurs, les forestiers), des organisations et des institutions, incluant ainsi la gamme variée des bénéficiaires de l'offre des services en interaction. Les composantes fonctionnelles correspondent à divers processus socio-économiques. **Deuxièmement, le cadre explicite la notion de gestion en spécifiant ses objectifs et niveaux potentiels** (paysages,

systèmes agricoles, habitats semi-naturels et ressources naturelles) pour permettre le pilotage des services. **Troisièmement, le cadre propose une représentation dynamique itérative des interactions entre le système social, l'écosystème et les pratiques agricoles**, quelle que soit l'entrée choisie au départ. La pertinence de ce cadre conceptuel dynamique a été illustrée par son application à la ré-analyse de deux études de cas publiées par ailleurs : la dynamique déclenchée par la certification environnementale dans la chaîne de valeur du café en Amérique centrale (figure), et la mise en place d'une gestion collective dans une zone céréalière française pour concilier production agricole et biodiversité.



### Contacts

Françoise Lescourret (PSH, INRAE, France),  
francoise.lescourret@inrae.fr

Danièle Magda (Agir, INRAE, France),  
daniele.magda@inrae.fr

Guy Richard (Direction de l'expertise scientifique collective, de la prospective et des études, INRAE, France),  
guy.richard@inrae.fr

### Plus d'informations

Lescourret F, Magda D, Richard G., et al., 2015. A social-ecological approach to managing multiple agroecosystem services. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 14: 68-75. <https://doi.org/10.1016/j.coust.2015.04.001>

◀ *Utilisation du cadre conceptuel EcoServ pour représenter la dynamique de la certification du café en Amérique centrale et ses conséquences sur la gestion des services agro-écosystémiques.*

D'après Fabrice DeClerk et al., 2011. Ecosystem services from agriculture and agroforestry measurement and payment. Earthscan, London.

## Re-conception des agrosystèmes en Inde du Sud pour optimiser l'utilisation des ressources en eau

En Inde, les excès de la « Révolution verte » ont conduit à une crise agraire affectant la sécurité alimentaire, la consommation d'énergie, les ressources en eau et en sols et la survie des exploitations agricoles. Aujourd'hui, des modèles alternatifs basés sur les principes de l'agroécologie sont encouragés, mais les outils manquent pour les adapter localement. Un consortium pluridisciplinaire de chercheurs indiens et français observe et modélise le fonctionnement hydrologique, géochimique, agronomique et socio-économique d'un bassin versant expérimental en Inde du Sud (Berambadi, site indien du Service national d'observation « Multiscale tropical catchments », SNO M-Tropics) où la surexploitation des eaux souterraines pour l'irrigation fragilise la durabilité des exploitations agricoles. Des scénarios sont co-construits avec les acteurs locaux pour concevoir des pistes de changement.

sui.v.

► Forage individuel à Berambadi.

Cette photo montre la petite taille des parcelles.

© M Sekhar



Les premiers scénarios proposés par les acteurs furent essentiellement « technologiques » : améliorer la productivité de l'irrigation (e.g. micro-irrigation), augmenter la ressource en eau disponible (e.g. recharge artificielle des nappes, retenues collinaires). Un modèle intégré, développé sur la plateforme Record (cf. page 136), montre que ces solutions sont insuffisantes, voire accélèrent l'épuisement des nappes en stimulant l'extension des surfaces irriguées (« effet rebond »). De même, la tarification de l'irrigation permettrait de stabiliser la ressource en eau mais ruinerait de nombreuses exploitations vulnérables. **Les nouveaux scénarios proposés nécessitent une profonde re-conception des**

**systèmes, pour les adapter aux conditions pédo-climatiques locales et assurer un production agricole optimale permettant la préservation de la ressource en eau.** Il s'agit par exemple de jouer sur les rotations culturales (complémentarité des cultures irriguées et pluviales) et de décourager la mise en place de cultures dont les besoins en eau sont importants durant la saison chaude et sèche, responsables de l'essentiel du déficit hydrique annuel. **Les outils génériques de diagnostic et d'évaluation développés dans ce contexte peuvent contribuer à imaginer des solutions dans une large gamme de conditions pédo-climatiques.**

#### Contacts

Laurent Ruiz (SAS, GET, INRAE, France), laurent.ruiz@inrae.fr

Muddu Sekhar (Institut indien des sciences, Bangalore, Inde), muddu@iisc.ac.in

#### Plus d'informations

• Robert M., Thomas A., Sekhar M., Badiger S., Ruiz L., Raynal H., Bergez J.E., 2016. Adaptive and dynamic decision-making processes: a conceptual model of production systems on Indian farms. *Agricultural Systems*. <https://10.1016/j.agsy.2016.08.001>

• Sekhar M., Riote J., Ruiz L., Jouquet P, Braun J.J., 2016. Influences of climate and agriculture on water and biogeochemical cycles: Kabini critical zone observatory. *Proc. Ind. Nat. Sci. Acad.*, 82: 833-846 <http://dx.doi.org/10.16943/ptinsa/2016/48488>

## L'agroécologie comme levier d'adaptation et d'atténuation du changement climatique

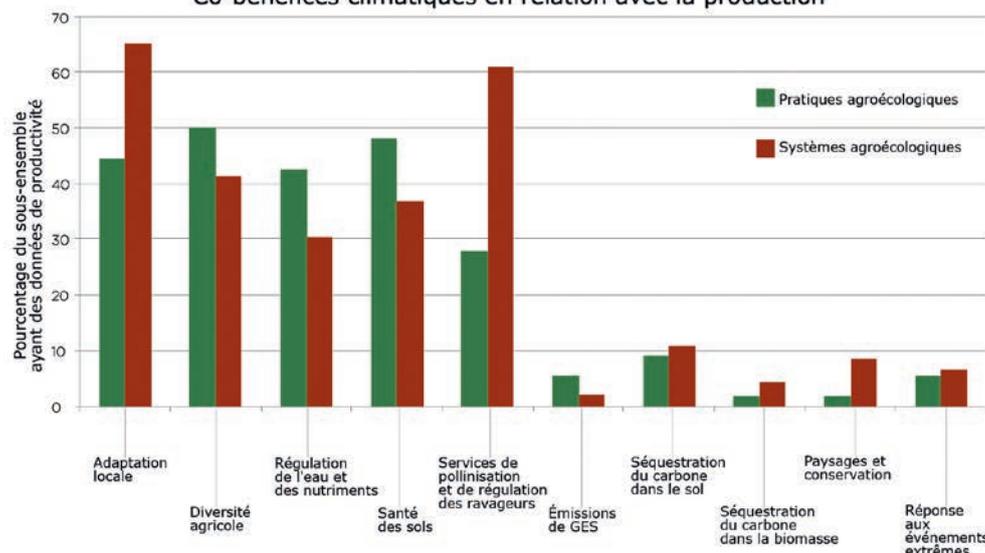
### Une analyse des éléments de preuves

L'agroécologie est de plus en plus souvent présentée comme un moyen pour transformer les systèmes alimentaires et assurer la sécurité alimentaire et nutritionnelle mondiale dans le contexte actuel du changement climatique. Cependant, les preuves scientifiques étayant cette stratégie sont peu nombreuses. Nous avons procédé à une analyse rapide des preuves de l'impact des pratiques agroécologiques sur l'atténuation et l'adaptation au changement climatique<sup>(2)</sup>. Nous nous sommes concentrés sur (i) l'impact des approches agroécologiques sur l'atténuation et l'adaptation au changement climatique dans les pays à revenu faible et intermédiaire et (ii) les approches et conditions de programmation soutenant les transitions agroécologiques à grande échelle. Nous avons examiné 18 articles de synthèse et de méta-analyse sur les approches agroécologiques et l'adaptation, l'atténuation et

l'ampleur du changement climatique (représentant plus de 10 212 études). Nous avons également examiné 15 674 articles s'intéressant aux approches agroécologiques de la gestion des nutriments et du changement climatique, en plus de 5 498 articles sur celles concernant les ravageurs et maladies et le changement climatique. Nous avons identifié 138 articles qui considèrent également certains aspects de l'adoption et de l'innovation par les agriculteurs. **Des preuves substantielles existent concernant les impacts de l'agroécologie sur l'adaptation au changement climatique, mais aussi sur l'atténuation du changement climatique mais dans une moindre mesure.** Il s'agit notamment des effets positifs de la diversification sur la pollinisation, la lutte contre les ravageurs, le cycle des nutriments, la régulation de l'eau et la fertilité des sols<sup>(3)</sup>. La séquestration du carbone dans le sol est la forme d'atténuation la plus

fréquemment observée. La cocréation et le partage des connaissances entre agriculteurs renforcent leur capacité à s'adapter aux conditions locales<sup>(1)</sup>, améliorant ainsi l'adaptation et l'atténuation du changement climatique. **Des lacunes de données ont été constatées sur certaines approches agroécologiques : (i) l'intégration de l'élevage ; (ii) la reconception à l'échelle du paysage ; et (iii) la réponse aux événements climatiques extrêmes. Les données sur les émissions de gaz à effet de serre dans les tropiques sont également très limitées. Les indications de changement d'échelle sont rares, sauf pour les approches qui soutiennent la diversité agricole et renforcent la capacité d'adaptation locale (utilisation de processus participatifs et d'agriculteurs à agriculteurs) et le rôle des politiques.**

#### Co-bénéfices climatiques en relation avec la production



▲ **Pourcentage d'articles incluant des données sur les co-bénéfices des pratiques ou systèmes agroécologiques pour la gestion agroécologique des nutriments et des ravageurs l'adaptation et l'atténuation du changement climatique pour les articles rapportant une amélioration de la production.** D'après Snapp et al. (2021)

#### Contacts

Yodit Kebede (Eco&Sols, IRD, France), yodit.kebede@ird.fr

Lini Wollenberg (Climate Change Agriculture and Food Security CRP, Université du Vermont, USA), lini.wollenberg@uvm.edu

Sieglinde Snapp (Université d'État du Michigan, USA), snapp@msu.edu

#### Plus d'informations

(1) Mier y Terán Giménez Cacho M., Giraldo O.F., Aldasoro M., Morales H., Ferguson B.G., Rosset P., Khadse A., Campos C., 2018. Bringing agroecology to scale: key drivers and emblematic cases. *Agroecology and sustainable food systems*, 42(6): 637-665. doi: 10.1080/21683565.2018.1443313

(2) Snapp S, Kebede Y, Wollenberg E, Dittmer KM, Brickman S, Egler C, Shelton S., 2021. *Agroecology and climate change rapid evidence review: performance*

*of agroecological approaches in low- and middle- income countries.* Wageningen, the Netherlands: CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS). <https://ccafs.cgiar.org/news/agroecologykey-piece-climate-adaptation-mitigation>

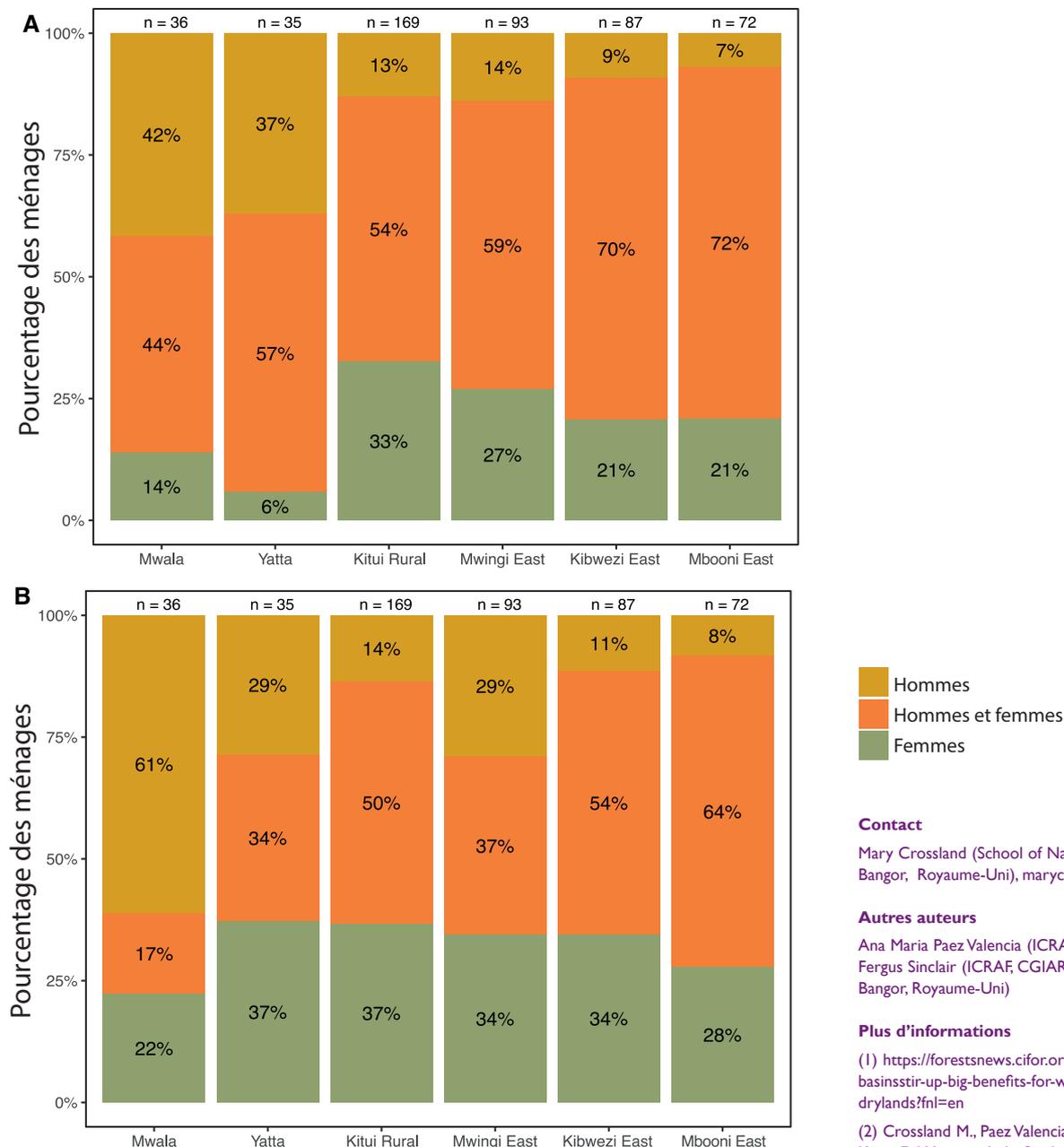
(3) Tamburini G., Bommarco R., Wanger T.C., Kremen C., van der Heijden M.G., Liebman M., Hallin S., 2020. Agricultural diversification promotes multiple ecosystem services without compromising yield. *Science advances*, 6(45). doi: 10.1126/sciadv.aba1715

# L'adoption des pratiques agroécologiques est conditionnée par la dynamique au sein des ménages et les changements du profil du travail des femmes

Les cuvettes de plantations (fosses creusées dans les champs cultivés pour retenir l'eau et dans lesquelles les cultures sont plantées) constituent une réponse agroécologique efficace à l'augmentation de la fréquence et de la gravité des sécheresses, mais leur création et leur entretien demandent beaucoup de travail<sup>(1)</sup>. Une étude s'est intéressée aux décisions prises au sein des ménages et aux relations de genre concernant l'utilisation de ces cuvettes de plantation par plus de 2 500 agriculteurs dans les zones arides de l'est du Kenya. **Les résultats révèlent que les décisions concernant l'adoption de pratiques agroécologiques, bien qu'initiées par les femmes qui participent à des ateliers agricoles, sont souvent prises sur la base de discussions entre maris et femmes. De multiples dimensions sociales, notamment**

**et du contrôle des ressources du ménage, se croisent et façonnent l'intérêt et la contribution des hommes et des femmes à différentes pratiques, ainsi que les avantages qu'ils en retirent<sup>(2)</sup>.** L'adoption des cuvettes a déplacé le travail des hommes vers les femmes qui étaient auparavant moins impliquées dans la préparation de la terre (figure). Même si les cuvettes augmentent le temps de préparation de la terre, de nombreux agriculteurs déclarent que le temps global du travail sur leur exploitation a diminué du fait d'un moindre désherbage. Beaucoup ont également noté que l'utilisation de ces cuvettes répartit le travail plus uniformément tout au long de l'année. Hommes et femmes déclarent que les cuvettes sont plus productives en raison de leur capacité à capter les eaux de ruissellement, à contrôler l'érosion et à augmenter la fertilité du sol, et que cela justifie le nécessaire

investissement en travail, en particulier lorsque les pluies sont rares. Les relations intra-ménages sont déterminées par la participation accrue des femmes aux processus d'innovation, comme les formations, et par des changements sociétaux plus larges, notamment l'exode rural de nombreux hommes. **L'adoption de pratiques de restauration dans les exploitations agricoles de l'est du Kenya sera probablement améliorée par la prise en compte explicite des rôles et des relations existant au sein des ménages lors de la conception et de la diffusion d'innovations agroécologiques.** Dans de nombreux contextes, l'obtention de résultats inclusifs et équitables pour les hommes et les femmes nécessite une action délibérée pour modifier les relations de genre afin que les femmes aient davantage voix au chapitre dans les décisions agricoles.



### Contact

Mary Crossland (School of Natural Sciences, Université de Bangor, Royaume-Uni), marycrossland@gmail.com

### Autres auteurs

Ana Maria Paez Valencia (ICRAF, CGIAR, Kenya)  
Fergus Sinclair (ICRAF, CGIAR, Kenya/Université de Bangor, Royaume-Uni)

### Plus d'informations

(1) <https://forestsnews.cifor.org/65320/agroforestry-basinsstir-up-big-benefits-for-women-in-kenya-drylands?fnl=en>

(2) Crossland M., Paez Valencia A.M., Pagella T., Magaju C., Kiura E., Winowiecki L., Sinclair F., 2021. Onto the farm, into the home: how intrahousehold gender dynamics shape land restoration in Eastern Kenya. *Ecological Restoration*, 39 (1&2): 90-102.





# *Partie 2*

## *Systemes alimentaires*

# Chapitre 4

## Identifier et surmonter les contraintes au sein des systèmes alimentaires pour des transitions agroécologiques à grande échelle – Reconnecter producteurs et consommateurs

Le développement, la mise en œuvre et la transposition à plus grande échelle des pratiques agroécologiques (voir les chapitres 1, 2 et 3) nécessitent un environnement économique et institutionnel favorable et des politiques publiques appropriées. Il est souvent nécessaire de surmonter les contraintes structurelles propres aux modèles d'amélioration agricole conventionnels, ce qui nécessite des changements fondamentaux dans l'organisation et le fonctionnement des systèmes alimentaires. Ce chapitre s'intéresse à l'identification des contraintes au sein des systèmes agricoles, alimentaires et fonciers ; et aux façons de les surmonter pour, *in fine*, réussir des transitions agroécologiques à grande échelle. Les recherches présentées dans ce chapitre sont organisées autour de cinq questions principales : (i) l'environnement économique des exploitations agricoles, en lien avec les chaînes de valeur, les marchés et la réglementation ; (ii) les conditions de l'innovation dans les exploitations et les systèmes de production agricole ; (iii) le rôle des marchés pour rapprocher producteurs et consommateurs ; (iv) l'effet de levier des objectifs nutritionnels et des traditions alimentaires pour l'agroécologie ; et (v) la conception de systèmes alimentaires territoriaux. Ces questions se réfèrent au **niveau de transition n°4 de Gliessmann** (« Rétablir un lien plus direct entre ceux qui cultivent nos aliments et ceux qui les consomment »), tout en répondant aux exigences d'un environnement économique et institutionnel favorable aux transitions agroécologiques.

**Certaines de ces contraintes naissent dans l'environnement économique des exploitations agricoles, dans les modes d'organisation des chaînes de production et de valeur, et dans la réglementation afférente.** Les identifier et les lever impose de répondre aux questions suivantes. Tout d'abord, il s'agit d'identifier et de travailler sur les contraintes propres à l'exploitation. Celles-ci peuvent être liées au régime foncier des exploitations, des terres ou des arbres (par exemple Chomba *et al.*). Celles-ci peuvent aussi être liées au travail : quel rôle joue le besoin en main-d'œuvre agricole et domestique dans la facilitation ou le frein aux transitions (comme le montrent, par exemple, Agazhi *et al.* pour les cultures intercalaires de légumineuses) ? Au-delà de l'exploitation, en amont, quel est le rôle des fournisseurs d'intrants, des coopératives, et en aval, des normes sur les produits, du contrôle de

la qualité, des contraintes liées à la transformation, de la réglementation des marchés ? Par exemple, en aval, il existe des contraintes spécifiques aux marchés et aux chaînes de valeurs. Quels sont les forces et facteurs sociaux et économiques qui favorisent l'uniformité, la standardisation et la concentration le long des chaînes de valeur alimentaires, et qui entravent ainsi les transitions agroécologiques, et comment y remédier ? Le développement de chaînes de valeur locales peut-il jouer un rôle, comme le montre Faye pour les élevages de chameaux ? Des institutions telles que les centres de ressources ruraux peuvent-elles jouer un rôle, comme le montrent Carsan *et al.* ? Les modèles commerciaux industriels peuvent-ils être modifiés pour intégrer les systèmes de production des petits exploitants, comme l'illustrent Miccolis *et al.* avec l'agroforesterie du palmier à huile en Amazonie brésilienne ? Comment transformer les marchés, vers une agroécologie à plus grande échelle comme, par exemple, pour approvisionner les populations des mégapoles avec des produits agroécologiques, notamment en produisant d'importants volumes commerciaux ? Quelles politiques nationales peuvent-elles être mises en place pour permettre un changement d'échelle des systèmes au-delà des exploitations individuelles, comme le montrent Rizvi *et al.* pour l'agroforesterie en Inde ? Quels sont les contraintes et goulets d'étranglement principaux ?

Une autre série de questions est liée à **la façon dont fonctionne l'environnement de la connaissance et de l'innovation dans lequel s'insèrent les exploitations agricoles.** Il s'agit d'examiner le rôle des services de conseil aux agriculteurs dans les dynamiques de transitions. Les innovations locales dans les exploitations et les plateformes d'échange de connaissances sont-elles propices aux transitions agroécologiques ? Les innovations en aval, le long des chaînes de valeurs, peuvent-elles faciliter des transitions de l'exploitation (comme le montrent Jeuffroy et Meynard) ? Comment la recherche agricole peut-elle s'intégrer dans ce schéma, avec de nouveaux rôles. La recherche est invitée à dépasser le modèle traditionnel de l'innovation basé sur la mise en œuvre, dans les exploitations, de solutions développées dans des conditions pilotes, vers un nouveau modèle d'expérimentations à grande échelle dans les exploitations elles-mêmes, afin d'englober un plus large éventail

▼ Boutique alimentaire type kiosque. © Y. Kameli/IRD/Moisa



de contextes et donc de transitions spécifiques à chaque agriculteur (comme le montrent Coe et Sinclair), tout en veillant à ce que les innovations soient axées sur la demande (Yila *et al.*). Ceci est illustré par la co-conception de systèmes laitiers au Burkina Faso (Vall *et al.*), et par de nouvelles plateformes scientifiques œuvrant avec les acteurs, comme le montrent Bertrand et Rapidel pour la production de café en agroforesterie, ou en France par Cerf et Jeuffroy. Il faut aussi par ailleurs s'occuper des questions spécifiques au genre qui peuvent entraver ou accélérer la transition agroécologique (Yila et Sylla).

Une dimension importante de l'agroécologie est la **reconstruction des liens entre producteurs et consommateurs**. Les différents types de marchés émergents peuvent être propices à cette reconexion : quels sont ces marchés, comment leur développement peut-il être favorisé, notamment les marchés et approvisionnements locaux ? Les marchés éloignés peuvent aussi favoriser cette connexion, notamment lorsque les aliments doivent provenir de plus loin (par exemple, dans les mégapoles, ou pour les produits de base commercialisés à l'échelle internationale comme le café, le cacao, etc.). Les labels de qualité, la certification ou d'autres systèmes peuvent aussi promouvoir l'agroécologie, comme pour les arachides de qualité au Kenya (Hauser et Edel) ou la certification du cacao au Cameroun (Lescuyer). Les informations sur les caractéristiques des produits et la façon dont ils sont produits (modes de production, empreintes sociales, valeurs nutritionnelles, biodiversité, valeur énergétique, etc.) doivent être transmises du producteur au consommateur, pour influencer les préférences des consommateurs et éclairer leurs choix, comme le montrent Cuong et Nelson pour le riz. Et inversement, comment les choix de consommation durable des consommateurs bénéficient-ils aux producteurs ?

**Une meilleure nutrition** constitue un objectif fondamental des transitions des systèmes alimentaires, mais la nutrition n'est pas seulement une fin, c'est aussi un moyen. Il s'agit de mieux comprendre, de mieux prendre en compte et de mieux intégrer les dimensions nutritionnelles dans les décisions en matière d'agriculture, de commercialisation et de consommation, de sorte à ce que cela soit favorable à l'agroécologie. Il faut, en pratique, construire des synergies entre agroécologie et meilleure nutrition. Par exemple, pouvons-nous mieux comprendre et promouvoir les avantages des cultures vivrières sous-utilisées pour améliorer la nutrition et lutter contre la sous-nutrition/malnutrition (Termote et Meldrum) ? Les systèmes de production agricole peuvent être conçus pour garantir des produits divers tout au long de l'année, et garantir ainsi un approvisionnement équilibré en aliments nutritifs variés grâce à l'exploitation de la diversité des calendriers culturaux et de récolte des plantes cultivées et des arbres (comme le montrent Dury *et al.* au Mali et au Burkina-Faso, et McMullin *et al.* pour les arbres fruitiers en Afrique de l'Est). Manners et Remans montrent que la diversité culturelle à l'échelle de l'exploitation peut être gérée pour atteindre des objectifs nutritionnels sans compromis sur le rendement

total ou le revenu dans la région des Grands Lacs d'Afrique centrale. Connaître la valeur nutritionnelle des espèces végétales alimentaires indigènes peut améliorer les actions de développement et les politiques (Borelli et Hunter). Les cultures et les traditions alimentaires sont des dimensions clés de l'agroécologie, mais elles sont souvent menacées de disparition. Il est ainsi important d'assurer une transmission continue des connaissances sur les aliments locaux et nutritifs, leur culture et leur utilisation, notamment les méthodes de cuisson traditionnelles. Cela inclut la protection, l'utilisation et la gestion des espèces végétales sauvages destinées à l'alimentation dans les mosaïques paysagères associant terres cultivées et espaces forestiers (Ickowitz *et al.*). Comment les préserver et les exploiter au mieux ?

Enfin, un élément clé au niveau systémique consiste à mieux relier les chaînes de valeur alimentaires, les acteurs du système alimentaire et le **développement à l'échelle territoriale ou du paysage**. Les autorités territoriales ont un rôle à jouer pour construire des systèmes alimentaires territoriaux qui rassemblent toutes les parties prenantes de manière participative, permettent de structurer l'organisation du système alimentaire/environnement dans un paysage donné, tout en abordant les questions de foncier rural, périurbain et urbain pour la production, les marchés, les circuits de vente et de distribution, etc. Une question clé est celle du rôle des systèmes alimentaires locaux et de la mesure dans laquelle ils peuvent assurer une certaine forme d'autosuffisance (Sanz-Sanz *et al.*). Le lien entre alimentation et territoire touche aussi aux objectifs locaux de santé et d'environnement : pouvons-nous mieux comprendre et relier les questions de santé humaine et environnementale dans les villes, comme l'illustrent Le Bars et Kameli à propos de la réduction des pesticides à Bamako (Mali) ? Les projets alimentaires territoriaux constituent une solution innovante développée à Mirecourt en France (Barataud et Coquil). Quelles formes d'organisations sociales dans les villes peuvent améliorer les connexions entre zones rurales et urbaines ? Ces filières peuvent-elles tirer parti du recyclage des nutriments contenus dans les déchets au profit d'une production agroécologique, et comment (voir Wassenaar et Feder pour la Réunion) ? Il existe des formes d'organisations propices aux systèmes d'innovation locaux : quels en sont les exemples ? La résilience aux chocs et aux crises tels que celle liée à la Covid-19, doit être renforcée pour gérer les questions relatives au développement rural, urbain et territorial, aux infrastructures sociales, économiques et physiques liées aux systèmes alimentaires (comme le montrent Homann-Kee Tui *et al.* au Zimbabwe). En outre, des pas de temps plus longs sont nécessaires pour élaborer les politiques, par exemple en mobilisant des approches prospectives (voir l'exemple de Dorin en Inde).

**Vincent Gitz** (CIFOR, CGIAR)  
**Bernard Hubert** (Agropolis International, INRAE)  
**Fergus Sinclair** (ICRAF, CGIAR)



## Environnement économique des exploitations et des systèmes de production agricole

### Impact de l'introduction de légumineuses alimentaires dans les systèmes de monoculture à base de céréales - *Analyses inter-et intra-ménages*

La diversification agroécologique renforce la résilience écologique et socio-économique, souvent en créant de nouvelles opportunités de marché<sup>(1)</sup>. Des études empiriques ont montré que les exploitations présentant une agrobiodiversité, une sécurité alimentaire et un engagement social élevés, peuvent être considérées comme plus avancées dans le processus de transition agroécologique, avec un potentiel vraisemblablement élevé pour fournir un large éventail de services écosystémiques<sup>(2)</sup>. L'introduction de légumineuses dans les monocultures à dominante céréalière est l'une des stratégies les plus couramment utilisées par les agriculteurs pour accroître l'efficacité et la productivité de leurs exploitations. Il existe toutefois peu d'informations empiriques sur les impacts économiques de l'introduction de légumineuses alimentaires dans les monocultures céréalières en Éthiopie.

Sur la base d'un échantillon aléatoire de 600 ménages agricoles et en utilisant différentes spécifications du modèle d'appariement sur score de propension (PSM)\*, cette étude a examiné l'impact de l'intensité d'adoption de technologies nouvellement introduites concernant les légumineuses alimentaires dans les cultures de blé. Les résultats provenant d'un modèle binaire des effets des traitements montrent que les adoptants ont des revenus 25 % plus élevés issus de leurs cultures que les non-adoptants. Les résultats généralisés du modèle d'appariement sur score de propension indiquent également que l'intensité de l'adoption a un effet positif sur les revenus et l'apport calorique. Cependant, les dépenses de consommation quotidiennes diminuent à mesure que l'intensité de l'adoption augmente. Une analyse ventilée par âge et par sexe a révélé que les ménages dont la main-d'œuvre est plus productive, bénéficient de meilleurs effets directs ; ces effets sont moins

bénéfiques pour les ménages dont les membres féminins sont plus nombreux à dépendre économiquement. L'impact de l'adoption de variétés améliorées de légumineuses alimentaires varie selon la dynamique interne des ménages. L'adoption de variétés améliorées de légumineuses alimentaires a un impact prometteur sur le bien-être, qui diffère toutefois considérablement entre les membres d'un ménage selon

l'âge et le sexe. **Ces données montrent que l'introduction de légumineuses dans les monocultures de blé crée des opportunités intéressantes et que les différences entre genres doivent être prises en considération pour tirer pleinement parti des bénéfices potentiels de cette introduction.**

\* Le PSM (pour *propensity score matching*) est une modélisation des effets de traitements basé sur le concept de « score de propension ». Le score de propension est la probabilité conditionnelle d'être exposé à un traitement particulier compte tenu des covariables observées<sup>(3)</sup>.

#### Contacts

Zenaye Degefu Agazhi (Université d'État d'Oromia, Éthiopie), zizusgs.agroeco@gmail.com

Girma Tesfahun Kassie (ICARDA, CGIAR, Maroc), g.tesfahun@cgiar.org

Degye Goshu (Association Économique de l'Éthiopie), degyeabgos@gmail.com

#### Autre auteur

Mulugeta Yitayih (ILRI, CGIAR, Éthiopie)

#### Plus d'informations

(1) FAO, 2021. Agroecology knowledge hub. Food and Agriculture Organization of the United Nations. [www.fao.org/agroecology/knowledge/10-elements/diversity/en/](http://www.fao.org/agroecology/knowledge/10-elements/diversity/en/) (accessed: 22 April 2021).

(2) Rosenbaum P.R., Rubin D.B., 1983. The central role of the propensity score in observational studies for causal effects. *Biometrika*, 70(1): 14. <http://links.jstor.org/sici?sici=0006-3444%28198304%2970%3A1%3C41%3ATCR-OTP%3E2.0.CO%3B2-Q>

(3) Teixeira, H.M. et al., 2018. Understanding farm diversity to promote agroecological transitions. *Sustainability* (Switzerland). MDPI AG, 10(12). doi: 10.3390/su10124337



◀ Culture de fèves dans la zone administrative de Bale à prédominance céréalière, au sud de l'Éthiopie. © G.T. Kassie/ICARDA

### Comment les régimes fonciers et les droits sur les arbres conditionnent des transitions agroécologiques à grande échelle

Les droits de propriété sur les terres et les arbres sont essentiels pour permettre l'adoption et le déploiement d'approches agroécologiques qui puissent garantir des systèmes alimentaires mondiaux durables, socialement justes et sûrs. Dans de nombreuses régions, les droits de propriété sur les terres et les arbres restent fragiles, litigieux et précaires, ce qui entrave l'adoption de pratiques agroécologiques par les petits exploitants,

les investissements durables et les mécanismes de partage équitable des bénéfices. Lorsque la propriété foncière favorise quelques individus seulement, les transitions des systèmes alimentaires et l'acquisition des bénéfices issus de l'agroécologie risquent de perpétuer des inégalités (figure page suivante). Dans le projet de crédits carbone de Kasigau (Kenya), les propriétaires fonciers avaient leur part de revenus garantie, puis les coûts du projet étaient décomptés

prioritairement, et seules les parts restantes étaient allouées aux communautés dépossédées de droits fonciers et d'accès aux ressources (notamment les personnes exclues de l'activité économique sur les terres intégrées au projet, comme les fabricants de charbon de bois, les éleveurs et les squatters de ranchs abandonnés, expulsés lorsque les droits des propriétaires fonciers avaient été réaffirmés).

La fragilité et l'insécurité foncière touchent de façon disproportionnée les femmes, les populations autochtones et les personnes sans terre les plus pauvres de la société. Ces dernières n'ont souvent pas la possibilité de s'engager dans des approches de production agroécologiques, ni de défendre leurs normes socioculturelles qui sont favorables à l'agroécologie, ni d'en bénéficier équitablement. La petite taille des propriétés foncières peut entraîner des coûts de transition disproportionnés, les petits exploitants étant désavantagés par rapport aux gros producteurs en raison d'économies d'échelle. Des mécanismes institutionnels ciblés sont alors nécessaires pour remédier à ces facteurs structurels<sup>(1)</sup>.

### Des dispositions foncières innovantes, qui



◀ Distribution moyenne des revenus issus des ventes de carbone en 2010 et 2011 du projet REDD+ « Kasigau Corridor » au Kenya.

mettent des terres à la disposition des femmes et des personnes défavorisées, qui garantissent la sécurité des populations autochtones et qui soutiennent le regroupement et la commercialisation collective, peuvent aider à surmonter certains de ces défis<sup>(1)</sup>. En Amazonie péruvienne, le gouvernement a accordé des titres fonciers officiels (baux de 40 ans renouvelables) aux agriculteurs qui avaient empiété sur des terres forestières avant l'adoption de la loi, à condition qu'ils s'engagent à conserver les vestiges forestiers, à maintenir ou établir des peuplements agroforestiers sur au moins 20 % de leurs terres, tout en mettant en œuvre des mesures de conservation des sols et de l'eau. Différentes approches agroécologiques ont été identifiées - compatibles avec les moyens de subsistance des agriculteurs et avec les stratégies de conservation des terres et des arbres - qui pourraient être mises en œuvre par les agriculteurs sur leurs terres ainsi sécurisées. Il s'agit notamment de la restauration forestière, la promotion des successions dans les jachères, l'agroforesterie et l'enrichissement des jachères dans les zones dédiées

aux cultures<sup>(2)</sup>. Cette disposition pourrait donner les droits d'acquisition foncière à des dizaines de milliers d'agriculteurs, en attendant qu'ils mettent en œuvre des pratiques agroécologiques<sup>(3)</sup>.

### Contacts

Susan Chomba (Institut des ressources mondiales, WRI), [susan.chomba@wri.org](mailto:susan.chomba@wri.org)

Valentina Robiglio, (ICRAF, CGIAR, Pérou), [v.robiglio@cgiar.org](mailto:v.robiglio@cgiar.org)

Fergus Sinclair (ICRAF, CGIAR, Kenya/Université de Bangor, Royaume-Uni), [f.sinclair@cgiar.org](mailto:f.sinclair@cgiar.org)

### Plus d'informations

(1) Chomba S., Kariuki J., Lund J.F., Sinclair F., 2016. Roots of inequity: how the implementation of REDD+ reinforces past injustices. *Land Use Policy*, 50: 202-213.

(2) Robiglio V., Reyes M., 2016. Restoration through formalization? Assessing the potential of Peru's agroforestry concessions scheme to contribute to restoration in agricultural frontiers in the Amazon region. *World Development Perspectives*, 3: 42-46. <https://doi.org/10.1016/j.wdp.2016.11.013>

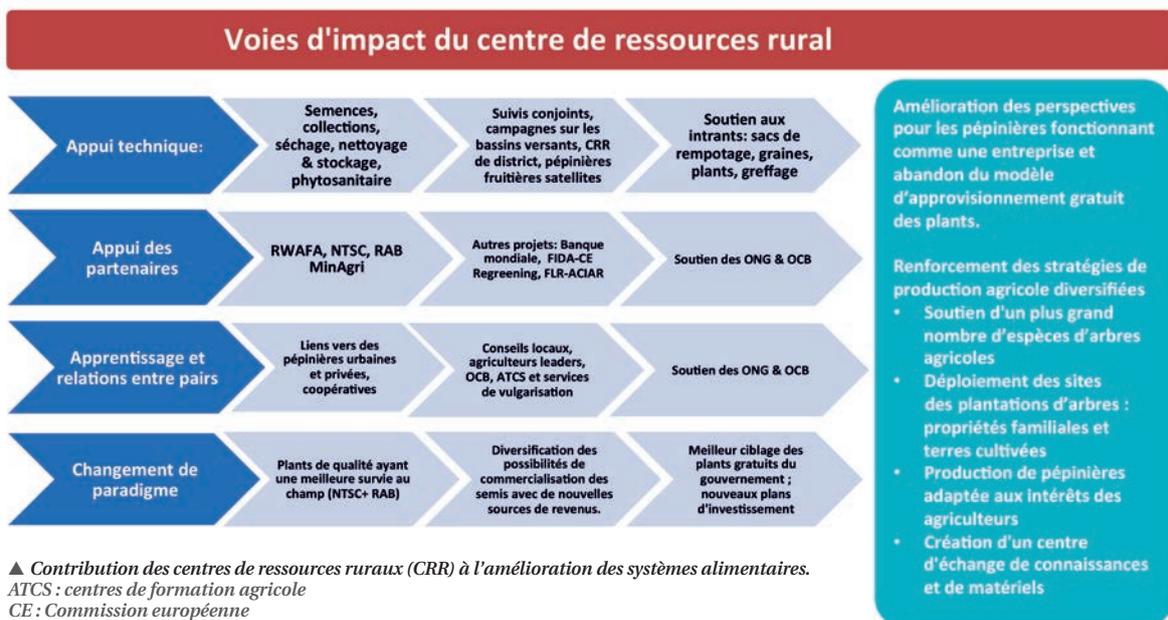
(3) Sinclair F., Wezel A., Mbow C., Chomba S., Robiglio V., Harrison R., 2019. *The contribution of agroecological approaches to realizing climate-resilient agriculture*. GCA: Rotterdam, The Netherlands.

## Les centres de ressources ruraux aident à promouvoir des options de production alimentaire diversifiées

La baisse des investissements dans les services de vulgarisation agricole et forestière en Afrique a un impact négatif sur la capacité des petits producteurs à adopter de nouvelles pratiques de production alimentaire impliquant des arbres et nécessitant de nouvelles connaissances et autres innovations. Les centres de ressources ruraux (CRR), en tant que centres locaux de formation et de démonstration à destination des agriculteurs, sont établis en fonction des besoins ou des ressources locales disponibles, dans le but de promouvoir

l'utilisation de technologies agroforestières dans les régions d'Afrique de l'Ouest et de l'Est. Un CRR « typique » comprend une pépinière, une source d'eau permanente, des champs de démonstration, un hangar pour les formations et un petit bureau ou magasin, le tout sur une superficie d'environ 1 ha clôturé. Les CRR offrent aux agriculteurs un meilleur accès à de nouvelles connaissances, à du matériel génétique amélioré, à des techniques de pépinière, de greffage, de gestion des arbres ou tout autre besoin d'apprentissage pour optimiser divers

moyens de subsistance. Les CRR sont mis en place par les producteurs à travers des projets et incluent des plans des propriétés communautaires locales ; ils offrent aux agriculteurs et aux vulgarisateurs locaux des possibilités d'apprentissage entre pairs, de formations, de contacts avec les fournisseurs d'intrants, de démonstrations et de possibilités d'échange de matériel de plantation qui améliorent et diversifient la production alimentaire locale.



#### ▲ Contribution des centres de ressources ruraux (CRR) à l'amélioration des systèmes alimentaires.

ATCS : centres de formation agricole

CE : Commission européenne

Fida : Fonds international pour le développement agricole

FLR-Aciar : Restauration des forêts et des paysages - Centre australien pour la recherche agricole internationale

NTSC : Centre national des semences d'arbres

OCB : organisation communautaire de base

ONG : organisation non gouvernementale

RAB MinAgri : Office rwandais de l'agriculture, ministère de l'Agriculture et des Ressources animales du Rwanda

RWAFA : Office des Eaux et Forêts du Rwanda

Source : compilation personnelle.

Les CRR complètent les pépinières forestières traditionnelles axées sur les arbres pour le bois d'œuvre, en aidant les agriculteurs à produire et planter des arbres alimentaires de leur choix sur leur exploitation ou pour la vente à d'autres membres de la communauté. Les membres peuvent également produire dans les CRR des légumes à partir de plantes annuelles ou pérennes ou encore du matériel de plantation pour leurs propres jardins ou vergers. Ces opportunités profitent particulièrement aux jeunes et aux femmes via des activités rémunératrices comme la commercialisation de plants, la fourniture de greffons de fruitiers et de compétences rémunérées telles que le greffage de plantules. En somme, **les CRR jouent un rôle de conseil rural, en aidant les communautés locales à mieux (i) diversifier les plantations d'arbres**

**alimentaires ; (ii) multiplier et diffuser divers arbres alimentaires ; (iii) garantir les activités rémunératrices ; et (iv) augmenter les possibilités de production alimentaire avec des fruits et des légumes à feuilles.** L'acquisition de matériels et de connaissances sur les ressources génétiques alimentaires locales favorise une meilleure connaissance des aliments locaux, tout en contribuant à combler les carences alimentaires liées à la dépendance excessive à l'égard de quelques cultures de base sujettes aux sécheresses en Afrique.

**Contact**

Sammy Carsan (ICRAF, CGIAR, Kenya), s.carsan@cgiar.org

**Autres auteurs**

Catherine Dembele (Institut de l'environnement et de recherches agricoles, Inera, Burkina Faso)

Athanase Mukuralinda (ICRAF, CGIAR, Rwanda)

Catherine Muthuri (ICRAF, CGIAR, Kenya)

**Plus d'informations**

• Takoutsing B., Tchoundjeu Z., Degrande A., Asaah E., Tsoheng A., 2014. Scaling-up sustainable land management practices through the concept of the rural resource centre: reconciling farmers' interests with research agendas. *International Journal of Agricultural Extension Education*, 20(5): 463-483.

<http://dx.doi.org/10.1080/1389224X.2014.913984>

• Principaux impacts et résultats des CRR : [www.worldagroforestry.org/node/105018](http://www.worldagroforestry.org/node/105018)

## Systèmes innovants de production de chameaux et insertion dans les chaînes de valeur locales

Longtemps associé à la mobilité territoriale et à un mode d'élevage à faibles intrants, l'élevage camelin connaît en de nombreux points du globe (Moyen-Orient, Asie centrale, Chine et Afrique du Nord), une mutation certaine marquée du sceau de l'intensification tant pour la production laitière que pour la production de viande et de performances sportives (courses de chameaux). Un tel changement se traduit notamment par la modernisation des pratiques de production (traite mécanique, ateliers d'engraissement), l'utilisation des biotechnologies de la reproduction (insémination artificielle, transfert d'embryons) et une insertion accrue dans les marchés locaux ou nationaux donnant une plus-value importante à des produits (lait, viande) peu engagés autrefois dans des

transactions commerciales. Cela implique aussi d'importantes évolutions dans le mode d'alimentation, qui passe d'une utilisation pastorale exclusive à un affouragement raisonné provenant la plupart du temps de zones irriguées dans des régions largement impactées par des pénuries hydriques. Même si la pression d'un tel système alimentaire sur les ressources en eau est sans commune mesure avec celle exercée par l'élevage de vaches laitières Holstein établi en plein désert, le recours à des cultures fourragères irriguées apparaît difficilement durable dans le contexte d'aridité des « pays du chameau ». **Une alternative possible consiste d'une part en l'utilisation systématique de sous-produits de l'agriculture oasisienne (écarts de date, grignons d'olive), et d'autre**

**part dans le développement de cultures fourragères tolérantes au sel.** En effet, les camelins supportent fort bien des rations riches en sel et certaines espèces fourragères plus ou moins halophytes telles que le sporobole de Virginie (*Sporobolus virginicus*) ou l'herbe de Rhodes (*Chloris gayana*) sont capables de pousser sur des parcelles irriguées par eau saumâtre inutilisable pour d'autres usages. Associées à des plantations d'arbustes fourragers tels que *Moringa oleifera*, ces cultures halophytes sont susceptibles de couvrir suffisamment les besoins alimentaires des camelins.

**Contact**

Bernard Faye (Selmet, Cirad, France), bifaye50@gmail.com

**Plus d'informations**

• El-Shaar H.M., 2010. Halophytes and salt-tolerant plants as potential forage for ruminants in the Near East region. *Small Rumin. Res.*, 91(1): 3-12.

<https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2010.01.010>

• Faye B., 2016. The camel, new challenges for a sustainable development. *Trop. Anim. Health Prod.*, 48: 689-692.

<https://doi.org/10.1007/s11250-016-0995-8>



▲ Panneau publicitaire pour le lait de chamelle pasteurisé sur le marché d'El-Oued (Algérie). © B. Faye



▲ Traite mécanique des chameaux dans la ferme de Kharj (Arabie saoudite). © B. Faye

# Essor de l'agroforesterie du palmier à huile en Amazonie brésilienne

*Adaptation des systèmes de production et des modèles commerciaux au contexte des agriculteurs familiaux de Tomé Açu (État du Pará)*

Le palmier à huile est principalement produit sous forme de monocultures qui peuvent être très productives mais qui sont historiquement associées à des impacts négatifs sur l'environnement et à des impacts incertains sur les moyens de subsistance. L'agroforesterie du palmier à huile (AFS) peut fournir une voie agroécologique pour produire l'huile de palme. Nous avons étudié les facteurs clés qui sous-tendent l'essor de l'AFS dans le nord-est de l'État de Pará, en Amazonie brésilienne, et mis en évidence les voies à suivre pour parvenir à une production d'huile de palme plus durable sur le plan socio-environnemental. La méthodologie a consisté à analyser des données socio-économiques secondaires et des données sur l'utilisation des terres, et à enquêter des ménages (203 exploitations) sur leurs moyens de subsistance, les chaînes de valeur, les types et pratiques agroforestières (152 parcelles). Les résultats préliminaires montrent **le fort intérêt des enquêtés pour étendre l'AFS, et un intérêt très faible pour le palmier à huile en monoculture. L'AFS constitue un élément clé des moyens de subsistance par surface occupée, des revenus et du bien-être.** Les agriculteurs familiaux ont des moyens de subsistance et des stratégies d'utilisation des terres très hétérogènes, avec en moyenne 9 ± 5 catégories différentes d'utilisation des terres par exploitation. Malgré une grande diversité spécifique dans l'ensemble des exploitations, quelques espèces

seulement bénéficient d'une commercialisation sûre et sont communes à la grande majorité des AFS : cacao, palmier açaí (*Euterpe oleracea*) et poivre noir. **Les motivations qui sous-tendent l'adoption de l'AFS sont principalement la résilience aux risques du marché, aux fluctuations des prix et aux événements climatiques extrêmes, et l'existence de marchés de produits agroforestiers bien établis.** Les principaux obstacles à l'essor de l'AFS parmi les agriculteurs familiaux sont les suivants : une perception négative par les paysans du palmier à huile, considéré comme une mauvaise culture d'accompagnement ; une résistance au modèle commercial et au paquet technologique imposé par les entreprises ; un accès limité à l'assistance technique, au crédit rural, aux intrants et aux installations de transformation pour certains produits agroforestiers, notamment le palmier açaí et le manioc. Dans ce contexte, l'essor potentiel de l'agroforesterie mixte à base de palmier à huile pourrait dépendre de contrats plus flexibles via des dispositions tenant compte des aspirations des agriculteurs, de la disponibilité des terres et de la main-d'œuvre, de la gestion des espèces agroforestières, de l'utilisation des intrants et d'une assistance technique axée non seulement sur le palmier à huile mais aussi sur les pratiques agroforestières et agroécologiques en général.

## Contact

Andrew Miccolis (ICRAF, CGIAR, Brésil),  
a.miccolis@cgiar.org

## Autres auteurs

Helen Ramos, Jimi Amaral, Daniel Braga, Líliane Cunha, Laís Sousa, Frederico Brandão et Henrique Marques (ICRAF, CGIAR, Brésil)

## Plus d'informations

- Batistella M., Bolfe É.L., Moran E.F., 2013. Agroforestry in Tomé-Açu: an alternative to pasture in the Amazon. In Brondízio E., Moran E. (eds): *Human-environment interactions, vol 1*. Springer, Dordrecht.  
[https://doi.org/10.1007/978-94-007-4780-7\\_14](https://doi.org/10.1007/978-94-007-4780-7_14)
- Brandão F., Schoneveld G., 2015. *The state of oil palm development in the Brazilian Amazon: trends, value chain dynamics, and business models*. CIFOR Working Paper, 45 p.  
<https://doi.org/10.17528/cifor/005861>
- Khasanah N., van Noordwijk M., Slingerland M., Sofiyudin M., Stomph D., Migeon A.F., Hairiah K., 2020. Oil palm agroforestry can achieve economic and environmental gains as indicated by multifunctional land equivalent ratios. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 3 (January): 1-13. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00122>
- Miccolis A., Robiglio V., Cornelius J.P., Blare T., Castellani D., 2019. Oil palm agroforestry: fostering socially inclusive and sustainable production in Brazil. In Jezeer R., Pasiecznik N. (eds.): *Exploring inclusive palm oil production*. Tropenbos International: Wageningen, the Netherlands: 55-62.  
[www.etfrn.org/publications/exploring+inclusive+palm+oil+production](http://www.etfrn.org/publications/exploring+inclusive+palm+oil+production)



▲ Agroforesterie du palmier à huile à Tomé Açu, Pará, Brésil. © H. Marques

# Conception et mise en œuvre d'une politique nationale sur l'agroforesterie en Inde et au-delà

L'agroforesterie est immensément bénéfique, mais des politiques nationales défavorables entravent l'expression de tous ses bénéfices socio-économiques et environnementaux potentiels. L'Inde a mis en œuvre la première politique nationale sur l'agroforesterie (PNA) au monde en 2014<sup>(1)</sup>. En plus d'aider à la formulation de cette politique, World Agroforestry (également appelé ICRAF) fait toujours partie du Comité interministériel de haut niveau qui supervise sa mise en œuvre. **Ce comité a créé une sous-mission sur l'agroforesterie, dotée de 146,3 millions de dollars, afin de faciliter la mise en œuvre de la PNA, de supprimer les goulets d'étranglement concernant la production, l'abattage et le transport de 650 espèces agroforestières dans 25 États indiens, de faciliter la mise à niveau d'un institut national de recherche sur l'agroforesterie\* et de créer une mission nationale sur le bambou dotée de 197 millions de dollars.** En outre, l'inclusion de l'agroforesterie

dans le portefeuille indien de responsabilité sociale des entreprises (RSE) a ouvert une nouvelle fenêtre d'investissement. **Plus de 260 entreprises indiennes ont ainsi investi 1,59 milliards de dollars en 2020.**

Parmi les principaux effets concrets de la PNA, on peut citer la satisfaction de 70 % des besoins nationaux en bois grâce à l'agroforesterie (pour une valeur d'environ 20 milliards de dollars), et l'augmentation de la couverture des « arbres hors forêt » de 1,8 % entre 2015 et 2019, dont 86 % grâce à l'agroforesterie (figure). De tels succès ont provoqué des effets d'entraînement dans la région et au-delà. Le gouvernement du Népal, avec le soutien de l'ICRAF et du Climate Technology Centre and Network (CTCN), a élaboré et lancé sa PNA en 2019<sup>(2)</sup> (photo). Le CRP FTA a évalué la PNA népalaise comme étant une initiative à fort impact<sup>(3)</sup>. L'ICRAF a aidé l'Association des Nations d'Asie du Sud-Est (Asean)<sup>(4)</sup> et le Rwanda à élaborer des stratégies agroforestières et travaille

actuellement avec les Maldives et d'autres pays dans le même but. Cet effet d'entraînement a même atteint Belize, en Amérique centrale, qui développe actuellement sa propre PNA.

\* ICRAF-Central Agroforestry Research Institute : <http://cafri.res.in>

## Contacts

Javed Rizvi (ICRAF, CGIAR, Inde), [j.rizvi@cgiar.org](mailto:j.rizvi@cgiar.org)  
Yogendra Karki (Secretary, Ministry of Agriculture Development, Népal), [ykkarkee@hotmail.com](mailto:ykkarkee@hotmail.com)

## Autres auteurs

Shiv K. Dhyani and Sunil Londhe (ICRAF, CGIAR, Inde)  
Keshab Adhikari (ICRAF, CGIAR, Népal)

## Plus d'informations

(1) Singh V.P., Sinha R.B., Nayak D., Neufeldt H., van Noordwijk M., Rizvi J., 2016. *The national agroforestry policy of India: experiential learning in development and delivery phases*. ICRAF Working Paper.

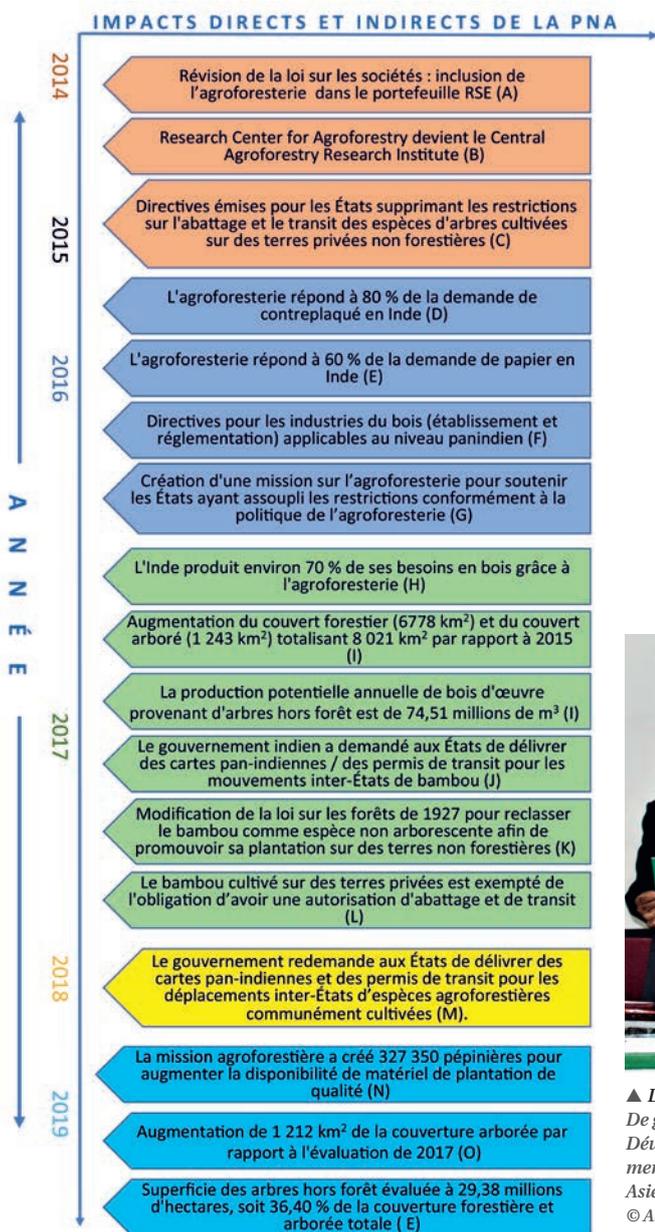
[www.worldagroforestry.org/publication/nationalagroforestry-policy-india-experiential-learningdevelopment-and-delivery](http://www.worldagroforestry.org/publication/nationalagroforestry-policy-india-experiential-learningdevelopment-and-delivery)

(2) Climate Technology Centre and Network, *Technical support to formulate a National Agroforestry Policy for Nepal (2019)*.

[www.ctc-n.org/technical-assistance/projects/technicalsupport-formulate-national-agroforestry-policy-nepal](http://www.ctc-n.org/technical-assistance/projects/technicalsupport-formulate-national-agroforestry-policy-nepal)

(3) CAS Secretariat (CGIAR Advisory Services Shared Secretariat), 2020. *CGIAR Research Program 2020 Reviews: Forests, Trees and Agroforestry*. Rome: CAS Secretariat Evaluation Function: 22-23. <https://cas.cgiar.org/sites/default/files/images/FTA%20CRP%20Review%202020%20Report.pdf>

(4) ICRAF, 2018. *ASEAN Guidelines for Agroforestry Development*. Association of Southeast Asian Nations, Jakarta. [www.recoftc.org/sites/default/files/publications/resources/recoftc-0000330-0002-en.pdf](http://www.recoftc.org/sites/default/files/publications/resources/recoftc-0000330-0002-en.pdf)



▲ **Lancement de la politique nationale sur l'agroforesterie.** De gauche à droite : l'honorable Chakra P Khanal, ministre de l'Agriculture et du Développement de l'Élevage (MoALD), Yubak Dhoj GC, secrétaire à l'Agriculture, DB Gurung, membre de la Commission de planification du Népal, et Javed Rizvi, directeur du programme Asie du Sud, ICRAF.

© Abiar Rahman/ICRAF

▲ Impacts directs et indirects de la politique nationale sur l'agroforesterie (PNA) en Inde.

# Conditions pour l'innovation dans les exploitations et les systèmes agricoles



## Reconnecter les dynamiques d'innovation en agriculture et alimentation

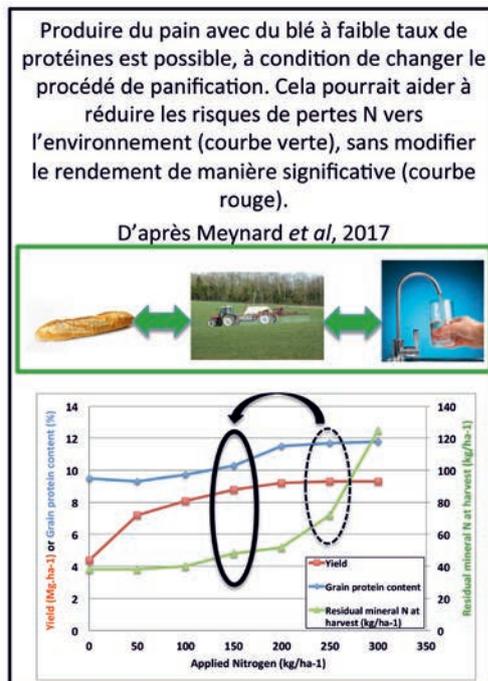
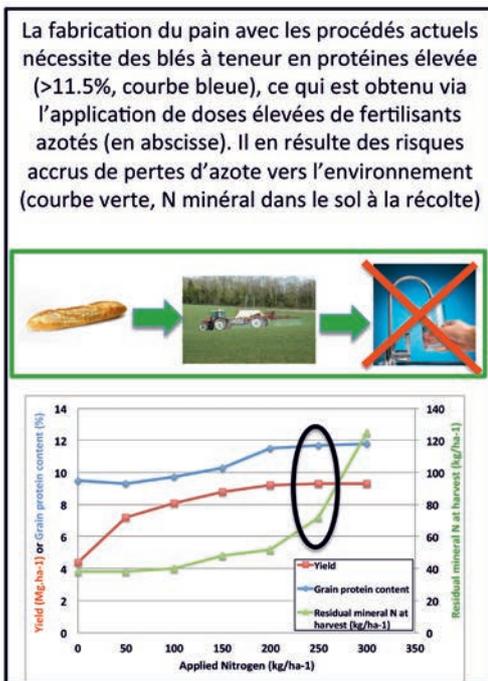
Plutôt que d'essayer de rendre plus durables l'agriculture et l'alimentation, indépendamment l'une de l'autre, reconnecter les dynamiques d'innovation dans ces deux domaines est une voie essentielle. Il s'agit ainsi de trouver, dans un changement de la transformation ou de l'alimentation, une solution à une problématique agricole et vice-versa. Par exemple, aujourd'hui, pour faire du bon pain, la meunerie exige du blé à haute teneur en protéines. Pour l'obtenir, il faut apporter, au champ, des quantités élevées d'engrais azoté, dont une partie, non utilisée par les plantes, est perdue et susceptible de polluer l'air et les eaux superficielles et souterraines. Or,

des recherches sur le processus de panification montrent comment faire du pain avec du blé à faible teneur en protéines. Cette innovation en panification permettrait de rendre l'agriculture plus durable, moins défavorable à l'environnement.

Conduire la transition des systèmes alimentaires ne peut être qu'un projet collectif, dans lequel la puissance publique s'implique résolument. Un autre exemple concerne le développement des légumineuses à graines dans les assolements français, en vue d'accroître la disponibilité de protéines végétales pour l'alimentation humaine, et de réduire, grâce à la fixation symbiotique, la consommation

d'énergie fossile et les émissions de gaz à effet de serre ( $\text{CO}_2$  et  $\text{N}_2\text{O}$ ). Un retour des légumineuses dans les champs et les assiettes nécessite la combinaison de différentes innovations : systèmes de culture incluant les légumineuses dans les rotations, les associations ou les intercultures ; préparations précuites facilitant l'utilisation en cuisine ; innovations organisationnelles pour la collecte et la distribution en circuits courts ; variétés productives et résistantes aux stress. Ces deux exemples<sup>(1,2)</sup> montrent qu'il est nécessaire, non seulement de concevoir des grappes d'innovations couplées (c'est-à-dire coordonnées entre elles), impliquant les différents maillons de la chaîne, mais aussi

de soutenir la réorganisation des réseaux d'acteurs, les apprentissages et les évolutions de normes et de réglementations qui rendront ces innovations opérantes.



### Contacts

Marie-Hélène Jeuffroy (Agronomie, INRAE, France), marie-helene.jeuffroy@inrae.fr

Jean-Marc Meynard (Agronomie, SAD-APT, INRAE, France), jean-marc.meynard@inrae.fr

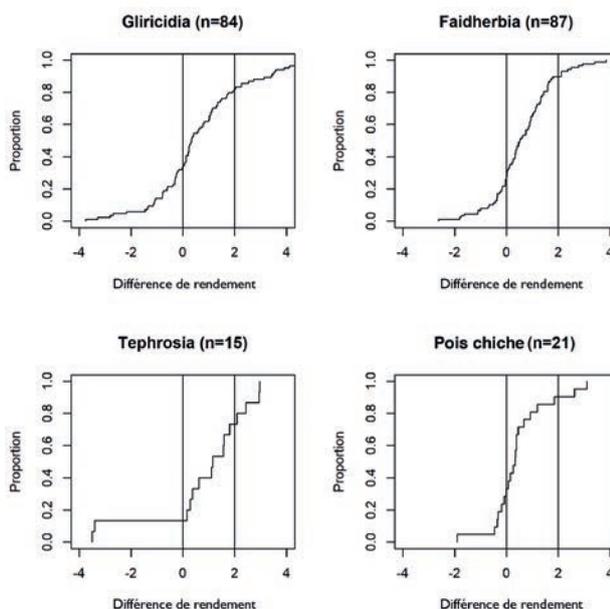
### Plus d'informations

(1) Meynard J.M., Jeuffroy M.H., Le Bail M., Lefèvre A., Magrini M.B., Michon C., 2017. Designing coupled innovations for the sustainability transition of agrifood systems. *Agricultural Systems*, 157: 330-339.

(2) Brun J., Jeuffroy M.H., Pénicaud C., Cerf M., Meynard J.M., 2021. Designing a research agenda for coupled innovation towards sustainable agrifood systems. *Agricultural Systems* 191(2021): 103143.

## L'approche contextuelle pour soutenir l'innovation agroécologique locale

L'innovation par un grand nombre de petits exploitants agricoles devra s'accélérer si l'on veut respecter les engagements mondiaux visant à éliminer la faim face au changement climatique et autres changements globaux causés par l'agriculture et ses impacts. La R&D agronomique conventionnelle implique un processus de recherche qui produit des technologies ensuite promues via la formation pour être adoptées par un grand nombre d'agriculteurs – ces phases de recherche et de formation étant plus ou moins participatives. Les performances des pratiques agroécologiques, qui s'appuient sur les processus naturels plutôt que sur l'uniformisation de l'environnement par des monocultures soutenues par des intrants chimiques, varient énormément à travers le spectre géographique couvert par les programmes de développement, en fonction du contexte social, économique et écologique.



◀ Distribution des différences de rendement de maïs ( $\text{t ha}^{-1}$ ) selon quatre options agroforestières (différentes espèces d'arbres fertilisants dans les cultures) et un témoin sans arbres, dans les conditions réelles d'exploitations au Malawi, auprès d'un échantillon d'agriculteurs (n) ayant adopté la pratique depuis au moins 4 ans.

Les lignes verticales indiquent des différences rendement (0 et  $2 \text{ t ha}^{-1}$ ) et servent de référence. Alors que la majorité des agriculteurs obtiennent jusqu'à  $2 \text{ t ha}^{-1}$  de rendement en sus, certains connaissent une diminution ou une augmentation de rendement supérieure à  $2 \text{ t ha}^{-1}$  (jusqu'à  $4 \text{ t ha}^{-1}$  avec Gliricidia).

Ceci est illustré par un exemple au Malawi qui montre la proportion cumulée d'agriculteurs obtenant une variation des rendements – diminution ou augmentation – en incorporant différentes espèces d'arbres fertilisants dans leurs champs (figure, page précédente)<sup>(1)</sup>. **Ces performances très variables montrent les limites des recommandations dédiées à de grandes zones et à de nombreux agriculteurs. Cela montre également la nécessité de trouver de nouvelles façons d'appuyer l'innovation en se basant sur l'hétérogénéité réelle des situations des agriculteurs et en explorant les contextes dans lesquels certaines pratiques sont performantes<sup>(2)</sup>.** Le déploiement de l'approche des options par contexte (OxC pour *options by context interaction*) a de profondes implications sur la manière dont la R&D agronomique est organisée<sup>(3)</sup>. Seize articles rédigés par des acteurs variés de la recherche agricole et compilés dans un numéro

spécial de la revue *Experimental Agriculture*, montrent la nature et les implications des interactions liées au contexte, et suggèrent que la recherche participative est nécessaire dans de multiples contextes pour appuyer une innovation pertinente, à la fois nouvelle et stimulante, au niveau local<sup>(4)</sup>. **Un changement de paradigme est en cours, avec des chercheurs qui adoptent de nouveaux modes de pensée et d'action afin d'aborder les interactions OxC ; celles-ci doivent également être reprises et développées par les conseillers techniques et les agents de développement des secteurs public et privé.** Ce n'est qu'en poursuivant le co-développement de méthodes impliquant ces deux composantes, et en travaillant en étroite collaboration avec les agriculteurs, qu'il sera ensuite possible de déterminer quelles pratiques agroécologiques fonctionnent, où et pour qui.

**Contacts**

Richard Coe (ICRAF, CGIAR, Kenya), r.coe@cgiar.org  
 Fergus Sinclair (ICRAF, Kenya/Université de Bangor, Royaume-Uni), f.sinclair@cgiar.org

**Plus d'informations**

- (1) Coe, R., Njoloma, J., Sinclair, F., 2019. Loading the dice in favour of the farmer: reducing the risk of adopting agronomic innovations. *Experimental Agriculture*, 55(S1): 67-83.
- (2) Sinclair F., Coe R., 2019. The options by context approach: a paradigm shift in agronomy. *Experimental Agriculture*, 55(S1): 1-13. <https://doi.org/10.1017/S0014479719000139>
- (3) Coe R., Sinclair F., Barrios E., 2014. Scaling up agroforestry requires research 'in' rather than 'for' development. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 6: 73-77. [www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877343513001437](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877343513001437)
- (4) Cambridge University Press (eds), 2019. *Experimental Agriculture*, 55(S1). [www.cambridge.org/core/journals/experimental-agriculture/issue/B7FAFD0A37A4177E37CD9C5062528DEA](http://www.cambridge.org/core/journals/experimental-agriculture/issue/B7FAFD0A37A4177E37CD9C5062528DEA)

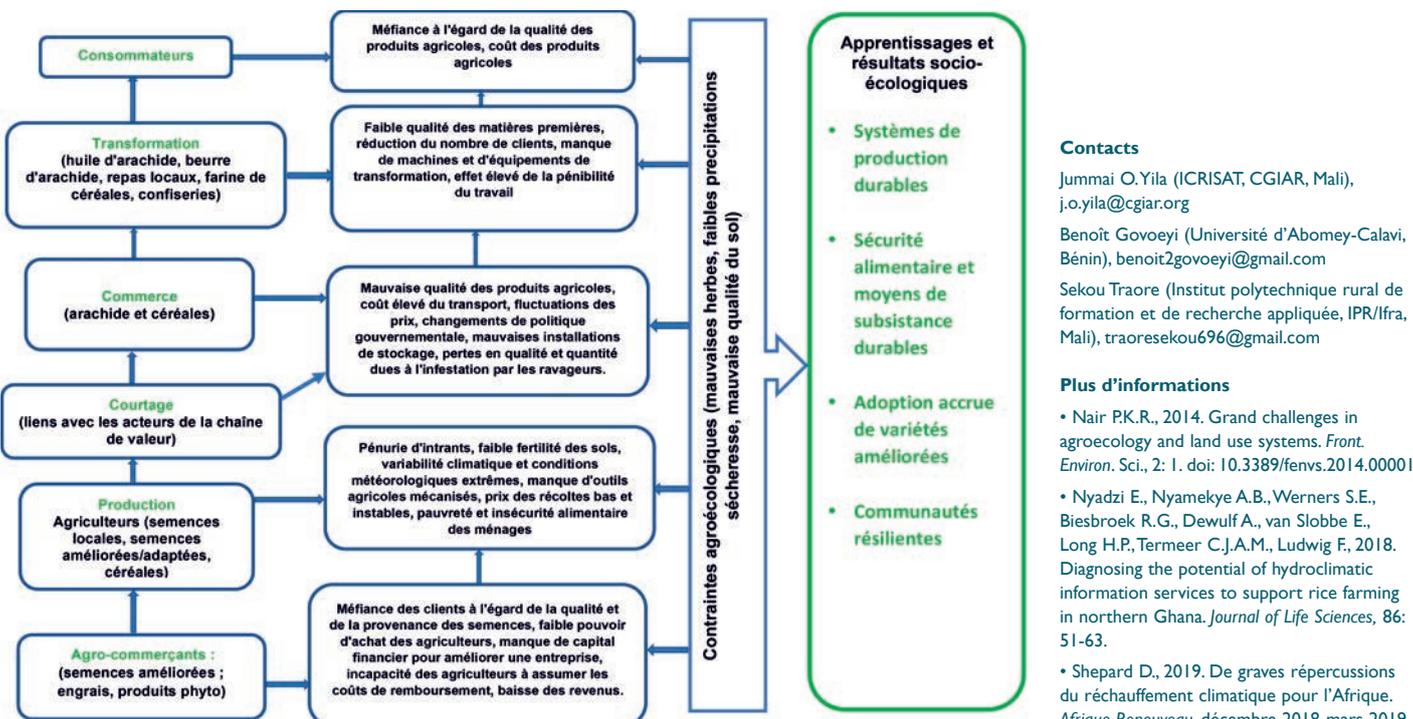
## Apprentissage, opportunités et contraintes agronomiques des systèmes de production de sorgho et d'arachide des petits producteurs au Mali

Les crises multiformes du changement climatique, de la pression démographique et de la dégradation des ressources naturelles en cours en Afrique de l'Ouest remettent en cause la durabilité des agroécosystèmes, entraînant des réductions des rendements agricoles et de la biodiversité, avec des implications pour la sécurité alimentaire et les écosystèmes. Les deux principales approches pour améliorer la production alimentaire visent l'augmentation de la « surface cultivée » et de la « production par unité de surface ». Les innovations en matière de sélection végétale visent à promouvoir des rendements plus élevés et une gestion efficace des ressources (par exemple le sol et l'eau). Au Mali, l'arachide et le sorgho sont des cultures vivrières et de rentes cultivées dans des conditions marginales et bénéficiant d'activités agricoles essentiellement manuelles en raison d'un très faible niveau de mécanisation et de machinisme. L'identification de variétés dotées de traits adaptés au climat et appréciées des agriculteurs peut favoriser

la production durable d'aliments dont les ménages dépendent, tout en améliorant l'efficacité de la gestion des agroécosystèmes.

Les contraintes et les opportunités des systèmes de production de sorgho et d'arachide au Mali ont été étudiées parallèlement à la façon dont cet apprentissage peut influencer la sélection génétique axée sur la demande afin d'améliorer la sécurité alimentaire et obtenir des résultats socio-écologiques durables. Des études ont été menées en 2019 et 2020 auprès de 449 producteurs d'arachide (224 femmes/225 hommes) et de 352 producteurs de sorgho (97 femmes/255 hommes) sélectionnés aléatoirement dans les régions de Kayes, Koulikoro, Sikasso et Ségou. Ces études visaient à évaluer les préférences des agriculteurs quant aux traits variétaux adaptés à l'environnement de production des hommes et femmes impliqués dans la production, la transformation, la commercialisation et la consommation de ces cultures (figure). Les

résultats révèlent que **les agriculteurs préfèrent les variétés d'arachide et de sorgho dont les traits permettent d'atténuer les principales contraintes de production tout en renforçant la résilience des systèmes agroécologiques. La sensibilité des variétés aux mauvaises herbes, à la sécheresse, aux saisons des pluies plus courtes et à la faible fertilité des sols, a été identifiée comme une contrainte majeure de production.** La culture de variétés qui se développent dans ces environnements marginaux réduirait le besoin d'engrais chimiques et d'herbicides qui perturbent l'environnement et menacent la durabilité des systèmes de production. Si la préférence des agriculteurs pour des variétés à haut rendement nécessitant peu d'engrais et présentant des caractéristiques de résistance aux mauvaises herbes et à la sécheresse était prise en compte par les programmes de sélection, la productivité des cultures, le gain génétique et la durabilité pourraient alors être simultanément améliorés.



▲ Opportunités et défis des acteurs des chaînes de valeur dans les systèmes de production d'arachide et de sorgho au Mali.

## Co-conception pas à pas d'innovations agroécologiques dans les systèmes laitiers du Burkina Faso

En Afrique de l'Ouest, la demande en produits laitiers est en forte augmentation, mais les filières locales ont du mal à émerger, face à la concurrence des poudres de lait importées. L'agroécologie représente une option prometteuse pour améliorer la compétitivité des filières laitières locales en réduisant les coûts de production à la ferme et en améliorant l'inclusion des acteurs, notamment les femmes, dans les filières émergentes. Depuis 2005, nous conduisons des travaux de co-conception pas à pas avec les producteurs, les collecteurs et les transformateurs de lait de la région de Bobo-Dioulasso pour les accompagner dans un processus de changement inspiré par les valeurs de l'agroécologie. Notre approche consiste à les accompagner dans des « pas » techniques et

des « pas » organisationnels visant à reconstruire le système de production, mais aussi à favoriser l'émergence d'un environnement porteur pour la production locale. Cette approche s'est appuyée sur des espaces de concertation impliquant chercheurs et acteurs des filières locales, et sur un processus de recherche-action en situation. À l'échelle des systèmes de production laitiers, des techniques de conservation des co-produits des cultures, des cultures fourragères à fins multiples, des banques fourragères arbustives, un outil de rationnement des femelles laitières adapté aux systèmes pastoraux, des modes de gestion des fumures, ont été expérimentés. Nous avons accompagné les acteurs des filières lait dans l'initiation d'innovations concernant l'organisation de la collecte (scénarios

de collecte efficaces et inclusifs), l'exploration de nouveaux débouchés (fromage wagashi). Une des résultantes de ces différentes interventions est la plateforme d'innovation lait de Bobo-Dioulasso initiée en septembre 2020. Une des leçons tirées de ces 15 années de travaux est que **l'art de la co-conception pas à pas réside dans la capacité à articuler des initiatives visant à faire émerger des systèmes agricoles prometteurs et à construire un environnement porteur incluant des décideurs politiques et des acteurs économiques animés par la volonté de faire émerger des filières laitières locales.**

### Contacts

Éric Vall (Selmet, Cirad, France), eric.vall@cirad.fr

Ollo Sib (Selmet, Cirad, France), ollo.sib@cirad.fr

Mélanie Blanchard (Selmet, Cirad, Vietnam), melanie.blanchard@cirad.fr

### Plus d'informations

- Blanchard M., Vall E., Tinguéri Loumbana B., Meynard J.M., 2017. Identification, caractérisation et évaluation des pratiques atypiques de gestion des fumures organiques au Burkina Faso : sources d'innovation ? *Autrepart*, 2017/1(81) : 115-134. doi: 10.3917/autr.081.0115
- Vall E., Blanchard M., Coulibaly K., Ouédraogo S., Dabiré D., Douzet J.M., Kouakou P.K., Andrieu N., Havard M., Chia E., Bougouma Y.B., Koutou, M., Marambiri M.S., Delma J.D., Sib O. 2019. Co-design of innovative mixed crop-livestock farming systems in the cotton zone of Burkina Faso. In: Côte F.-X. et al. (éd.) : *The agroecological transition of agricultural systems in the Global South*. Agricultures et défis du monde collection, AFD, Cirad, Éditions Quæ, Versailles: 17-37.
- Sib O., González-García E., Bougouma-Yameogo V.M.C., Blanchard M., Vall E., 2020. Co-development, establishment and assessment of shrub fodder banks for dairy cow feeding in Western Burkina Faso. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, 73(1): 27-35. doi: 10.19182/remvt.31841



▲ Formation d'un groupe de femmes peulhs à la production de yaourt (2012, Koumbia, Burkina Faso). © E. Vall

## Conception de systèmes agroforestiers innovants à base de caféier

L'augmentation de la pression des ravageurs, le réchauffement climatique, la perte de biodiversité et la surconsommation de pesticides constituent des défis majeurs pour la caféiculture mondiale. Le développement agroécologique du système doit ainsi être favorisé, sans perdre de vue sa rentabilité pour les producteurs. Des stratégies visant une gestion adaptative des systèmes agroforestiers à base de café ont été mises en œuvre au travers d'une plateforme scientifique sur l'agroforesterie<sup>(1)</sup>. Il s'agit d'adapter les plantations (variétés de café, espèces des arbres d'ombrage) et les pratiques de gestion (par exemple, la taille des caféiers et/ou l'écimage des arbres d'ombrage). **La fertilisation des plantations et la gestion de l'ombrage peuvent ainsi être adaptées à la situation actuelle des prix du café**, c'est-à-dire que lorsque les prix sont élevés, l'ombrage est réduit et la fertilisation augmentée, mais lorsque les prix baissent, un ombrage plus dense est encouragé pour augmenter le recyclage des nutriments tout en réduisant la production et les coûts de production.

suiv.



▲ Hybrides F1 de C. arabica plantés dans des systèmes agroforestiers (Matagalpa, Nicaragua). © B. Bertrand/Cirad

La sélection de variétés de café les mieux adaptées est un autre outil stratégique. Jusqu'à présent, les variétés de café étaient sélectionnées pour des conditions d'ombrage très faibles ou pour une culture en plein soleil. Les nouveaux programmes de sélection de caféiers ont été orientés pour offrir des variétés spécifiquement adaptées aux conditions des systèmes agroforestiers ([www.breedcfs.eu](http://www.breedcfs.eu)). Une nouvelle variété de café hybride F1 appelée Starmaya<sup>(2)</sup> a considérablement amélioré la productivité du café, sa résistance aux maladies et la qualité des grains dans les systèmes agroforestiers. **Un nouveau concept a été développé pour promouvoir ces innovations, à savoir la création de groupements de producteurs pour produire du café pour les torréfacteurs qui soit entièrement conforme aux normes environnementales**

**et agronomiques tout en respectant celles de traçabilité.** Les niveaux de qualité et de quantité de la production de café sont fixés selon les exigences de l'acheteur de café, qui s'engage en retour à un prix minimum. En outre, les groupements agroforestiers respectent les spécifications de plantation d'arbres d'ombrage. **Un groupement agroforestier « business driven », c'est un terroir + des pratiques agroforestières (certifiées Rainforest) + un traitement post-récolte entièrement contrôlé + une traçabilité à 100 %.**

**Contacts**

Benoît Bertrand (Diade, Cirad, France), [benoit.bertrand@cirad.fr](mailto:benoit.bertrand@cirad.fr)  
 Bruno Rapidel (Absys, Cirad, France), [bruno.rapidel@cirad.fr](mailto:bruno.rapidel@cirad.fr)

**Plus d'informations**

- (1) Plateforme scientifique méso-américaine pour l'agroforesterie : [www.pcpagroforestry.com/pcp-researchers.html](http://www.pcpagroforestry.com/pcp-researchers.html)
- (2) Georget F., Marie L., Alpizar E., Courtel P., Bordeaux M., Hidalgo J.M., Marraccini P., Breidler J.-C., Déchamp E., Poncon C., Etienne H., Bertrand B., 2019. Starmaya: the first Arabica F1 coffee hybrid produced using genetic male sterility. *Frontiers in Plant Science*, 10: 1344. doi:10.3389/fpls.2019.01344
- (3) <https://dailycoffeeneews.com/2017/03/13/new-starmayahybrid-could-reshape-the-industry-says-world-coffeeresearch/>
- (4) [www.cirad.fr/en/news/all-news-items/articles/2019/science/agroforestry-clusters-a-model-to-complement-fair-trade](http://www.cirad.fr/en/news/all-news-items/articles/2019/science/agroforestry-clusters-a-model-to-complement-fair-trade)

## La plateforme Ideas

*Accompagner les acteurs et chercheurs dans la conception d'innovations pour la transition agroécologique*

La nécessaire transition agroécologique des systèmes agri-alimentaires, aujourd'hui confrontés à de multiples défis, nécessite des changements inédits : (i) des innovations de rupture et systémiques, (ii) l'implication des acteurs de l'ensemble du système dans la construction et l'évaluation des solutions et, le plus souvent, (iii) une coordination renouvelée des activités et des relations entre ces acteurs, y compris avec les chercheurs. La conception innovante, dans des dispositifs d'innovation ouverte, constitue une approche pertinente, mais rare et peu maîtrisée chez les acteurs des systèmes agri-alimentaires, pour articuler ces trois objectifs et stimuler l'innovation au service des transitions vers plus de durabilité. Adossée à un réseau de scientifiques

travaillant en interdisciplinarité (agronomie, sciences des aliments, sciences humaines et sociales) sur et pour la conception, **la plateforme Ideas, soutenue par INRAE et AgroParisTech, a pour ambition de sensibiliser et former aux raisonnements de conception innovante et à leur mobilisation dans des contextes de recherche ou d'innovation, et d'accompagner les acteurs des systèmes agri-alimentaires à la mise en œuvre de cette approche dans des écosystèmes d'innovation renouvelés.** Elle propose, aux chercheurs et acteurs socio-économiques, des méthodes pour (i) stimuler la créativité des parties prenantes des systèmes agri-alimentaires (traque aux innovations, ateliers de co-conception), (ii) favoriser le dialogue entre

le souhaitable et le possible du point de vue des acteurs eux-mêmes (diagnostic des usages, conception pas-à-pas, test de prototypes en situation d'usage), (iii) produire, hybrider et formaliser des connaissances expertes et scientifiques distribuées (outils numériques d'aide à la conception), (iv) se projeter sur de nouveaux modes de production ou de transformation, et sur les changements d'activité nécessaires pour les mettre en œuvre (ex : scénarisation de territoires), (v) analyser les stratégies, réseaux et savoirs des acteurs (diagnostic du système sociotechnique) pour fonder de nouveaux modes d'organisation de la conception au service d'innovations systémiques et de rupture.

**Contacts**

Marianne Cerf (SAD-APT, INRAE, France), [marianne.cerf@inrae.fr](mailto:marianne.cerf@inrae.fr)  
 Marie-Hélène Jeuffroy (Agriculture, INRAE, France), [marie-helene.jeuffroy@inrae.fr](mailto:marie-helene.jeuffroy@inrae.fr)

**Autres auteurs**

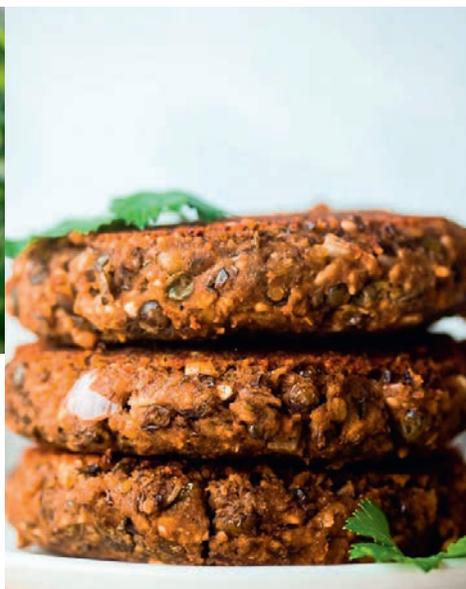
Laura Le Du et Thibault Lefeuvre (Innovation, AgroParisTech, France)  
 Jean-Marc Meynard (SAD-APT, INRAE, France)

**Plus d'informations**

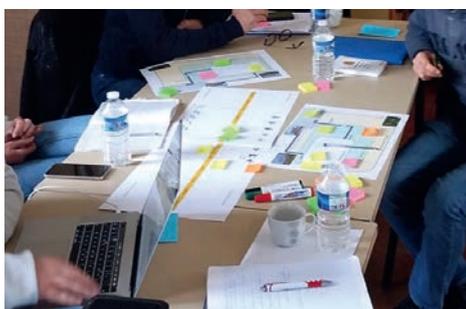
- Plateforme Ideas, Initiative for design in agrifood system : [www6.inrae.fr/ideas-agrifood](http://www6.inrae.fr/ideas-agrifood)
- Meynard J.M., Jeuffroy M.H., Le Bail M., Lefèvre A., Magrini M.B., Michon C., 2017. Designing coupled innovations for the sustainability transition of agrifood systems? *Agricultural Systems*, 157: 330-339. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2016.08.002>
- Cerf M., Jeuffroy M.H., Prost L., Meynard J.M., 2012. Participatory design of agricultural decision support tools: taking account of the use situations. *Agron Sustain Dev*, 32(4): 899-910.



▲▲ Concevoir des innovations couplées pour cultiver et valoriser les légumineuses. © C. Gallagher et B. Schugt, 2012



▼ Concevoir de nouveaux systèmes agricoles pour gérer la qualité de l'eau. © R. Reau



# Sensibilité et réactivité selon le genre pour accélérer l'adoption d'innovations dans les programmes d'amélioration des cultures

Le sorgho est une culture rémunératrice, très appréciée pour la sécurité alimentaire et qui subvient aux moyens de subsistance de nombreuses personnes au Mali et dans d'autres pays d'Afrique de l'Ouest. Plus de 50 % de la population agricole est impliquée dans la production de sorgho (5 à 7 % des emplois à temps plein). Malgré son importance, le sorgho est produit dans des conditions climatiques marginales et imprévisibles, avec des règles et des normes institutionnelles qui contrôlent la participation des femmes et des hommes à sa chaîne de valeur. **Les préférences spécifiques au genre concernant les caractéristiques des cultures sont rarement étudiées, ni comprises, ni privilégiées dans les programmes de sélection.** Étant donné que les agriculteurs sont les principaux bénéficiaires des produits issus de la sélection, il est essentiel de comprendre leurs besoins et préférences afin de développer des variétés adaptées. Du fait de

l'inquiétude croissante liée à la faible adoption des nouvelles variétés améliorées, cette étude examine les préférences des hommes et des femmes, acteurs des principales chaînes de valeur du sorgho. Sur la base des résultats, des informations factuelles ont été produites pour appuyer des initiatives de sélection sensibles au genre et axées sur la demande. En utilisant l'approche « chaîne de valeur » ainsi que des méthodes mixtes (enquêtes semi-structurées, discussions de groupe [FGD], interviews d'informateurs clés [KII]), des données ont été collectées dans les principales zones de production de sorgho au Mali (Koulikoro, Sikasso et Ségou) auprès de 343 producteurs, 34 commerçants, 139 transformateurs, 57 consommateurs, et 224 participants aux FGD et KII, pour un échantillon total de 797 personnes. L'objectif était de mieux comprendre pourquoi et comment les différents groupes et acteurs de la chaîne de valeur prennent leurs décisions concernant les variétés de sorgho, et

comment ces décisions peuvent influencer l'adoption des produits issus de la sélection. **L'étude a ainsi identifié les caractères cultureux préférés des acteurs de la chaîne de valeur, hommes et femmes, qui pourraient être pris en compte et classés par ordre de priorité lors de la conception de nouveaux cultivars de sorgho.** Les résultats révèlent que, si les traits préférés des hommes et des femmes sont quasiment identiques en termes de commercialisation, de transformation et de consommation, il existe une nette différence en termes de production, c'est-à-dire que les femmes préfèrent les traits liés à la préparation et à la qualité des aliments, tandis que les hommes préfèrent les rendements élevés, la maturité précoce et la résistance à la sécheresse, aux parasites et aux maladies. **Le choix variétal est ainsi lié aux ressources et aux responsabilités partagées entre les hommes et les femmes impliqués dans la production de sorgho.**



## Contacts

Jummai O.Yila (ICRISAT, CGIAR, Mali), j.o.yila@cgiar.org  
Almamy Sylla (ICRISAT, CGIAR, Mali), a.sylla@cgiar.org

## Plus d'informations

CGIAR Gender and Breeding Initiative. *Gender-Responsive product profile development tool*. Workshop Report. November 12-13, 2018. Ithaca, USA.  
<https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/99094>

◀ Des femmes travaillant dans un moulin de transformation des céréales à Karangana, dans la région de Sikasso au Mali (29 novembre 2019).  
© A. Sylla/ICRISAT-Mali

Sorgho VC Segments	Driver	Les trois traits les plus importants		Zones agricoles
		Femmes	Hommes	
Agriculteurs	Productivité	Rendement (77 %) Adaptable à de faibles besoins en engrais (92 %)	Stabilité du rendement (90%) Rendement (51 %) Maturité précoce (91 %)	600 mm-1 400 mm (zones agricoles soudanaises et sahéliennes)
	Résistance au stress biotique	-	Résistance aux mauvaises herbes (94 %) Résistance au striga (87 %) Résistance aux maladies/ravageurs (94 %)	600 mm-1 400 mm (zones agricoles soudanaises et sahéliennes)
	Qualité du grain et qualité alimentaire	Facilité de battage (93 %) Consistance des aliments (92 %) Rendement alimentaire (91 %)	Qualité du grain (77 %)	600 mm-1 400 mm (zones agricoles soudanaises et sahéliennes)
	Résistance au stress abiotique	Résistance à la sécheresse (92 %)	Résistance à la sécheresse (82 %)	600 mm-1 400 mm (zones agricoles soudanaises et sahéliennes)
Négociants/ Commerçants	Qualité du grain	Taille du grain (98 %) Couleur du grain blanc (96 %) Absence de testa (100%)	Taille du grain (100 %) Couleur du grain blanc (100 %) Absence de testa (100 %)	600 mm-1 400 mm (zones agricoles soudanaises et sahéliennes)
	Architecture	Ouverture des glumes (96 %)	Ouverture des glumes (100 %)	600 mm-1 400 mm (zones agricoles soudanaises et sahéliennes)
	Aptitude au stockage	Aptitude au stockage des grains (90 %)	Aptitude au stockage des grains (95 %)	600 mm-1 400 mm (zones agricoles soudanaises et sahéliennes)
Transformateurs	Qualité du produit final	Rendement alimentaire (89 %) Consistance du produit fini (88 %) Utilisation diversifiée des grains (74 %)	Rendement alimentaire (95 %) Consistance du produit fini (95 %) Utilisation diversifiée des grains (94 %)	600 mm-1 400 mm (zones agricoles soudanaises et sahéliennes)

◀ Profil sensible au genre du sorgho basé sur les traits préférés des acteurs de la chaîne de valeur. Données collectées dans les régions de Koulikoro, Sikasso et Ségou (Mali), novembre-décembre 2019.

# Rôle des marchés pour rétablir un lien plus direct entre producteurs et consommateurs



Connecter consommateurs urbains et producteurs ruraux grâce à une économie sociale et solidaire à Nairobi



▲ Des stands d'arachides dans un marché informel de rue à Mathare, Nairobi. © I. Edel

Tout le monde ou presque mange des cacahuètes au Kenya. Elles sont utilisées pour faire des sauces et du beurre d'arachide, et constituent également un en-cas populaire. Ces légumineuses sont riches en protéines, en minéraux essentiels et en graisses et constituent ainsi des sources d'énergie essentielles. Cependant, selon la saison, des aflatoxines peuvent se développer à l'extérieur et à l'intérieur des graines. La prévalence des aflatoxines sur les arachides est élevée dans les bidonvilles, où vivent 60 à 70 % de la population urbaine totale. Les aflatoxines sont cancérigènes et contribuent au retard de croissance des enfants. Dans les bidonvilles kenyans, les niveaux de retard de croissance restent supérieurs à la moyenne nationale. Comment serait-il possible d'offrir des arachides de qualité aux consommateurs à faibles revenus sur les marchés informels (marchands ambulants et petits magasins d'alimentation non réglementés et non protégés) qui font partie du

paysage alimentaire des bidonvilles ? À cette fin, nous avons co-créé des moyens pour simplifier les relations entre producteurs et consommateurs urbains au Kenya à travers un prisme agroécologique.

Dans le cadre d'un partenariat avec Greenforest Foods Limited, un transformateur kenyan d'arachides, l'ICRISAT a développé un modèle de vente d'arachides testées pour l'aflatoxine. L'objectif était de fournir des arachides sûres et bon marché à Mathare, un bidonville de Nairobi de plus de 400 000 habitants, tout en maintenant des systèmes de distribution impliquant des vendeurs de rue, des marchands ambulants et des petits magasins d'alimentation. Inspiré par l'économie solidaire, Greenforest met en place des chaînes de valeur connectant le Kenya rural et Mathare, tandis que l'ICRISAT soutient Greenforest avec son expertise en agroécologie, en analyse des aflatoxines et en gestion de la qualité. Greenforest soutient les agriculteurs

des comtés de Baringo et d'Elgeyo Marakwet dans leur transition vers une production agroécologique d'arachide, par exemple via la sélection efficace des semences, la gestion organique des sols et des rotations culturales tout en réduisant les intrants externes. En 2021, nous avons mené des études de marché à Mathare et les résultats ont révélé une faible connaissance de l'aflatoxine parmi les consommateurs et les vendeurs/détaillants. **Il est ainsi nécessaire de mieux sensibiliser à la sécurité sanitaire des aliments afin de réduire le risque d'exposition à l'aflatoxine sur les marchés informels. Nous explorons également les moyens d'établir des relations directes entre consommateurs et producteurs via un système participatif de garantie (SPG) tout en aidant à co-créer des liens durables entre producteurs et consommateurs. Les SPG établissent un lien de confiance entre tous les acteurs de la chaîne de valeur.** Bien que limité à un seul bidonville, le projet permettra potentiellement de fournir des arachides saines à 10 000 consommateurs. Cette étude de cas constitue une première étape vers des arachides bon marché, de haute qualité, nutritives et saines dans d'autres marchés à faible revenu du Kenya.

## Contacts

Michael Hauser (ICRISAT, CGIAR, Kenya),  
m.hauser@cgiar.org  
Immaculate Edel (ICRISAT, CGIAR, Kenya),  
i.edel@cgiar.org

## Plus d'informations

- African Population and Health Research Center (APHRC), 2014. *Population and health dynamics in Nairobi's informal settlements: report of the Nairobi cross-sectional slums survey (NCSS) 2012*. APHRC, Nairobi.
- Mupunga I., Mngqawa P., Katerere D.R., 2017. Peanuts, aflatoxins and undernutrition in children in Sub-Saharan Africa. *Nutrients*, 9(12): 1287

## Vers une gouvernance hybride du secteur du cacao au Cameroun pour renforcer la durabilité économique et environnementale

Le secteur du cacao est confronté à une demande croissante - principalement de la part des marchés européens - de justifier la légalité de sa production, sa durabilité et sa neutralité en termes d'impact sur les forêts tropicales. Au Cameroun, la certification du cacao selon des normes privées pourrait être un moyen efficace pour produire du cacao légal, durable et sans déforestation. Nous avons testé cette hypothèse en étudiant l'impact de la certification environnementale du cacao (norme UTZ-Rainforest Alliance v1.2, 2017, pour l'agriculture durable concernant les exploitations et les groupes de producteurs) sur les moyens de subsistance des petits exploitants (possédant une plantation de cacao de 0,5 à 5 ha) qui contribuent à près de 90 % de la production

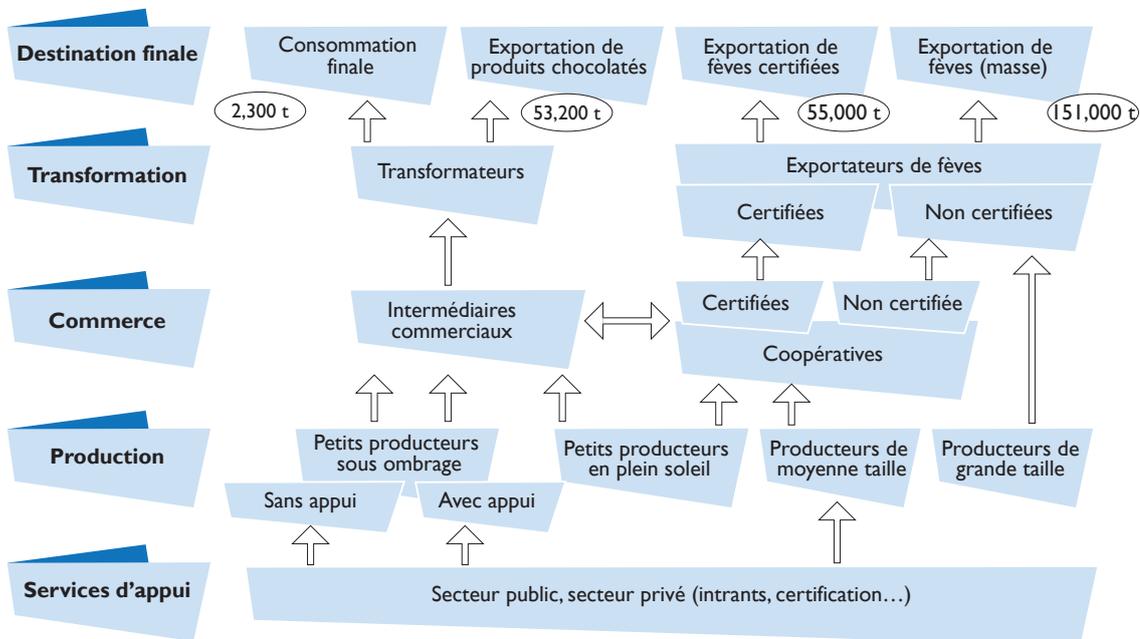
camerounaise. Trois systèmes de production de petits exploitants de cacao ont été comparés :

1. Les petits producteurs non certifiés. Ceux-ci ont un taux de profit net de 4 % et une valeur ajoutée de 471 984 FCFA/t. Ce mode de production du cacao est une activité peu rentable et vulnérable à toute augmentation des coûts de production.
2. Les producteurs en agroforêts ombragées et engagés dans la certification. Ceux-ci bénéficient d'un appui des sociétés d'achat de l'ordre de 80 000 FCFA/an, améliorant ainsi leurs performances financières. Leur taux de profit net est de 24 %. La valeur ajoutée est estimée à 486 102 FCFA/t.
3. Les producteurs dans les pâturages de la région du Mbam, engagés dans la certification, ont des

coûts de production beaucoup plus élevés que les planteurs de cacao des zones forestières. La prise en compte de certains coûts (notamment le travail) diminue le taux de profit net qui s'élève à 15 %, mais renforce la valeur ajoutée estimée à 660 544 FCFA/t.

**La certification peut donc être très avantageuse pour les petits producteurs en offrant un prix d'achat du cacao plus élevé et, surtout, en améliorant la production par un appui ciblé en termes de formation, d'équipement et d'intrants. La certification a ainsi supplanté l'État dans l'appui effectif aux petits producteurs.**

souv.



#### Contact

Guillaume Lescuyer (F&S, Cirad/CIFOR, CGIAR, France), guillaume.lescuyer@cirad.fr

#### Plus d'informations

- Camargo M.C., Hogarth N.J., Pacheco P., Nthantumbo I., Kanninen M., 2019. Greening the dark side of chocolate: a qualitative assessment to inform sustainable supply chains. *Environmental Conservation*, 46: 9-16.
- Lescuyer G., Boutinot L., Goglio P., Bassanaga S., 2020. *Analysis of the cacao value chain of Cameroon*. European Commission Report, DG-DEVCO, Value Chain Analysis for Development project, Brussels, 121 p. + annexes.
- Nlend Nkott A.L., Mathé S., Temple L., 2019. Analyse multiniveaux des freins à l'adoption de la certification du cacao au Cameroun. *Économie rurale*, 370: 81-99.

▲ Les principaux flux de la chaîne de valeur du cacao au Cameroun en 2019. D'après Lescuyer et al. (2020)

## Préférence des consommateurs pour le riz certifié écologique, social et sain

La production alimentaire agroécologique cherche à optimiser les interactions entre l'homme et l'environnement, en tenant compte des aspects sociaux nécessaires à un système alimentaire durable et équitable. Au Viêt Nam, le secteur rizicole se caractérise par une empreinte carbone élevée, une utilisation excessive de pesticides et de faibles salaires pour la main-d'œuvre agricole<sup>(1)</sup>. Réduire ces impacts négatifs tout en assurant la souveraineté alimentaire est essentiel à la production rizicole agroécologique. L'importance d'informer les consommateurs de riz sur ces aspects et ceux liés à la santé, grâce à l'étiquetage alimentaire, est bien documentée<sup>(2)</sup>. Cependant, ces différentes composantes sont souvent traitées comme unique attribut de la durabilité, et relativement peu de recherches ont été menées pour comprendre l'importance

relative que les consommateurs accordent aux caractéristiques individuelles des produits dans leurs décisions d'achat.

Nous avons mené une expérimentation sur les choix de 410 clients de supermarchés afin d'analyser les préférences des consommateurs vietnamiens et leur disposition à payer plus pour quatre labels de certification du riz : à faible émission, respectueux de l'environnement, éthique, faible indice glycémique (figures A et B). Les résultats montrent que **les consommateurs sont prêts à payer un supplément quel que soit le label de certification, la valeur ajoutée la plus élevée étant une augmentation de 66 % du prix pour du riz à faible indice glycémique**. Les résultats pour les labels de production écologique et éthique sont similaires, avec un supplément de

prix d'un peu plus de 50 %, tandis que le riz à faible taux d'émission a une prime de 28 %. **Obtenir, via la certification et le marché, une prime (prix plus élevé) pour du riz produit selon les principes agroécologiques contribue à la durabilité économique des producteurs, et les incite à adopter ces pratiques produisant d'importants avantages collectifs sur les plans sociaux et environnementaux**. Les résultats de cette étude pourraient être utilisés pour mieux comprendre la valeur, pour le consommateur, des différents labels de certification et pour orienter de futures recommandations de politiques publiques et commerciales visant à promouvoir une alimentation plus saine produite durablement, ce qui représente une étape cruciale dans l'évolution des systèmes alimentaires vers un paradigme agroécologique.

Alternative A	Alternative B	Status Quo
Faible taux d'émission	Faible taux d'émission	Faible taux d'émission
Respectueux de l'environnement	Respectueux de l'environnement	Respectueux de l'environnement
Produit de façon éthique	Produit de façon éthique	Produit de façon éthique
Faible indice glycémique	Faible indice glycémique	Faible indice glycémique
Prix (VND/kg)	24,000	Prix (VND/kg) 22,000
		Prix (VND/kg) 20,000

- La production éthique répond à des conditions de travail sûres et équitables.  
- Un faible indice glycémique assure une libération plus lente de l'énergie.

- Faibles émissions : empreinte carbone réduite.  
- Respectueux de l'environnement : répond à des réglementations strictes en matière de pesticides.



▲ Figure A. Exemples de labels de certification représentant, de gauche à droite : du riz à faibles émissions, écologique, éthique et à faible indice glycémique.

◀ Figure B. Comparaison de plusieurs étiquettes combinant différentes certifications de durabilité et de santé, à différents prix et un riz « statu quo » sans certification.

#### Contacts

Ong Quoc Cuong (École d'économie, Université de Can Tho, Vietnam), oqcuong@ctu.edu.vn

Katherine M. Nelson (IRRI, CGIAR, Vietnam), k.nelson@irri.org

#### Plus d'informations

(1) Stuart A.M., Devkota K.P., Sato T., Pame A.R.P., Balingning C., Phung N.T.M., Kieu N.T., Hieu P.T.M., Long T.H., Beebout S., Singleton G.R., 2018. On-farm assessment of different rice crop management practices in the Mekong Delta, Vietnam, using sustainability performance indicators. *Field Crops Research*, 229: 103-114.

(2) My N.H., Demont M., Van Loo E.J., de Guia A., Rutsaert P., Tuan T.H., Verbeke W., 2018. What is the value of sustainably-produced rice? Consumer evidence from experimental auctions in Vietnam. *Food Policy*, 79: 283-296.

# Effet de levier des objectifs nutritionnels et des traditions alimentaires pour l'agroécologie



## Bénéfices des cultures vivrières sous-utilisées pour améliorer la nutrition

**M**algré les progrès de l'agriculture conventionnelle, environ 800 000 personnes souffrent toujours de la faim et 2 milliards de carences en micronutriments, tandis que les taux de surpoids et d'obésité augmentent. Les espèces négligées et sous-utilisées (NUS pour *neglected and underutilized species*) ont souvent une meilleure teneur en nutriments que leurs homologues importées, généralement adoptées ; les NUS contiennent aussi des métabolites secondaires protecteurs de la santé que les autres cultures ont pu perdre au cours de la sélection. Une gamme très diversifiée d'aliments traditionnels peut être considérée comme des NUS, notamment les fruits, légumes, noix et légumineuses ou céréales complètes, nutritifs et actuellement consommés en quantités insuffisantes par les populations pour assurer leur protection contre les maladies chroniques liées à l'alimentation. Des modélisations du régime alimentaire ont montré que l'intégration des NUS dans les régimes alimentaires locaux contribuerait à combler les carences en nutriments et à réduire le coût des régimes alimentaires<sup>(4)</sup>.

**L'agroécologie offre une approche holistique pour aider à promouvoir la production, la commercialisation et la consommation des NUS.** Sur la base des 13 principes agroécologiques et en ce qui concerne la consommation et la nutrition des NUS : (i) l'agroécologie favorise les connaissances traditionnelles ; des connaissances considérables sur la production, la récolte, la conservation, la préparation et la consommation des NUS, restent confinées aux populations locales<sup>(3)</sup> ; (ii) l'agroécologie favorise la diversité de la production, notamment celle des NUS, ce qui contribue à la diversité et à la qualité alimentaire. Par exemple, la diversification avec des légumes traditionnels à feuilles, des légumineuses et de la volaille, dans un projet communautaire, a augmenté significativement la diversité alimentaire des jeunes enfants au Kenya<sup>(1)</sup> ; (iii) l'agroécologie - par sa fonction de mouvement social - favorise le capital social qui, à son tour, encourage (a) l'échange de semences et d'aliments à base de NUS ; (b) le partage des connaissances sur les caractéristiques des NUS telles que les qualités organoleptiques,

les recettes et les bénéfices pour la santé ; et (c) la diffusion d'informations générales sur les régimes alimentaires sains ; (iv) l'agroécologie encourage les réseaux et les marchés alternatifs inclusifs afin que les produits nutritifs des NUS atteignent les consommateurs de façon équitable et sûre ; et, enfin, (v) une étude menée en Équateur montre que l'agroécologie encourage la consommation de produits cultivés soi-même, réduisant ainsi les achats d'aliments ultra-transformés, mauvais pour la santé, dans les magasins de proximité<sup>(2)</sup>.

### Contacts

Céline Termote (Alliance of Bioversity International and CGIAR, Kenya), [c.termote@cgiar.org](mailto:c.termote@cgiar.org)

Gennifer Meldrum (Alliance of Bioversity International and CGIAR, Canada), [g.meldrum@cgiar.org](mailto:g.meldrum@cgiar.org)

### Plus d'informations

(1) Boedecker J., Oduor F., Lachat C., Van Damme P., Kennedy G., Termote C., 2019. Participatory farm diversification and nutrition education increase dietary diversity in Western Kenya. *Maternal and Child Nutrition*, 15(3): e12803.

(2) Deaconu A., Berti PR., Cole D.C., Mercille G., Batal M., 2021. Agroecology and nutritional health: a comparison of agroecological farmers and their neighbors in the Ecuadorian highlands. *Food Policy* (in press).

(3) Padulosi S., Thompson J., Rudebjer P., 2013. *Fighting poverty, hunger and malnutrition with neglected and underutilized species (NUS): needs, challenges and the way forward*. Bioversity International, Rome.

(4) Sarfo J., Keding G.B., Boedecker J., Pawelzik E., Termote C., 2020. The impact of local agrobiodiversity and food interventions on cost, nutritional adequacy, and affordability of women and children's diet in northern Kenya: a modeling exercise. *Frontiers in Nutrition*, 7: 129. [doi.org/10.3389/fnut.2020.00129](https://doi.org/10.3389/fnut.2020.00129)



▲ Agrobiodiversité alimentaire de la communauté de Cachilaya, Bolivie. © G. Meldrum/Bioversity International

## Diversifier la production agricole, l'élevage, l'arboriculture pour varier l'alimentation et assurer la sécurité alimentaire et nutritionnelle

**L**es ménages agricoles africains souffrent souvent d'insécurité alimentaire et nutritionnelle, même dans les régions où la production agricole atteint des niveaux relativement élevés. C'est le cas dans les zones de culture du coton et de céréales du Mali et Burkina Faso où les systèmes alimentaires n'assurent pas une alimentation qualitativement suffisante pour bien vivre<sup>(1)</sup>. Cette situation, surprenante *a priori*, est expliquée par (i) l'augmentation du travail agricole des femmes qui ont des charges nouvelles sans bénéfice direct du fait de leur statut subalterne dans les ménages, (ii) la réduction des espaces accessibles pour créer de nouveaux champs et la limitation des droits d'accès aux espaces naturels pourvoyeurs d'aliments, (iii) la spécialisation des systèmes de production et (iv) le manque de produits alimentaires sains, suffisamment denses en nutriments, et accessibles économiquement sur les marchés de consommation ruraux<sup>(2)</sup>.

Ces différents facteurs induisent une alimentation peu diversifiée. Deux études récentes menées à l'ouest du Burkina Faso montrent que l'alimentation quotidienne de 80 % des femmes ne leur permet pas de couvrir leurs besoins en micronutriments<sup>(3)</sup>.



▲ Agricultrices dans un verger d'anacardes, Burkina Faso. © A. Lourme-Ruiz, 2014

Les femmes vivant dans des exploitations agricoles aux productions (comprenant les cultures et les arbres agroforestiers) plus diversifiées en termes de composition nutritionnelle, ont accès à une alimentation plus variée (autoconsommation). En revanche, dans la mesure où ni les marchés, ni l'accès à la nature ne compensent le manque de diversité cultivée, les femmes vivant dans des exploitations spécialisées (coton) ont une alimentation moins diversifiée<sup>(4)</sup>. Dans ces régions, **il est recommandé, pour atteindre des systèmes agricoles « sensibles à la nutrition », ou a minima susceptibles de nourrir convenablement les agricultrices, de diversifier les cultures en tenant compte de leurs caractéristiques nutritionnelles** : par exemple, encourager les cultures maraichères quand l'eau est accessible, les arbres dont les graines ont une forte valeur nutritionnelle, ou

encore la production de légumineuses comme le niébé qui, de surcroît, offrent de nombreux bénéfices agronomiques (captation de l'azote de l'air, alimentation animale). Plus globalement, la biodiversité agricole présente des intérêts nutritionnels, agronomiques et écologiques, mais les systèmes d'évaluation des services rendus par cette agrobiodiversité restent encore cloisonnés et méritent un dialogue interdisciplinaire (agronomie, nutrition, écologie)<sup>(4)</sup>.

#### Contacts

Sandrine Dury (Moisa, Cirad, France), sandrine.dury@cirad.fr  
 Yves Martin-Prével (Moisa, IRD, France), yves.martin-prevel@ird.fr  
 Alissia Lourme-Ruiz (Moisa, IRD, France), alissia.lourme-ruiz@ird.fr

#### Plus d'informations

- (1) Dury, S., Bocoum, I., 2012. Le paradoxe de Sikasso (Mali) : pourquoi « produire plus » ne suffit-il pas pour bien nourrir les enfants des familles d'agriculteurs ? *Cahiers Agricultures*, 21(5) : 324-336.
- (2) Lourme-Ruiz A., Maugérard E., 2014. *Le paradoxe des Hauts Bassins : produire plus pour nourrir mieux ?* Film documentaire (41 min), Cirad, Montpellier, France. <https://vimeo.com/120670833>.
- (3) Lourme-Ruiz A., Dury S., Martin-Prével Y., 2016. Consomme-t-on ce que l'on sème ? Relations entre diversité de la production, revenu agricole et diversité alimentaire au Burkina Faso. *Cahiers Agricultures*, 25(6): 11.   
Projet Relax, promouvoir la résilience des ménages ruraux africains : les systèmes alimentaires à la croisée des chemins : <https://relax.cirad.fr/le-projet/presentation>
- (4) Lourme-Ruiz A., Dury S., Martin-Prével Y., 2021. Linkages between dietary diversity and indicators of agricultural biodiversity in Burkina Faso. *Food Security*. <https://doi.org/10.1007/s12571-020-01137-5>

## Des régimes alimentaires diversifiés toute l'année grâce à des portefeuilles d'arbres vivriers



Nom de l'aliment <sup>a</sup> , nom scientifique	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC	FER	VITAMINE A <sup>b</sup>	FOLATE	VITAMIN C
	<b>FRUITS</b>															
PAWPAW/PAPAYE <i>Carica papaya</i> <sup>2*</sup>														++	-	+++
BANANE <i>Musa spp.</i>														-	-	-
FRUIT DE LA PASSION <i>Passiflora edulis</i>														++	-	++
NTUUKA <i>Ternantia senhil</i>														-	-	-
RAISIN DE GREWIA/MAUVE <i>Grewia villosa</i>														-	-	-
TAMARIND <i>Tamarindus indica</i> <sup>1*, 2*</sup>														++	-	-
MANGUE <i>Mangifera indica</i> <sup>1*</sup>														+	+++	++
BIRD CHERRY <i>Berchemia discolor</i> <sup>1*, 2*</sup>														++	-	+++
GOYAVE <i>Psidium guajava</i>														-	-	+++
MOBOLA PLUM <i>Parinari curatellifolia</i>														++	-	+++
NÉFLE SAUVAGE COMMUNE <i>Vangueria madagascariensis</i>														++	-	+++
DATTE DU DÉSERT, fraîche <i>Balanites aegyptiaca</i>														++	-	+++
DATTE DU DÉSERT, séchée <i>Balanites aegyptiaca</i>														+++	-	+++
<b>LÉGUMES</b>																
CITROUILLE, feuilles <i>Cucurbita maxima</i>														++	++	-
MORINGA, feuilles <i>Moringa oleifera</i>														++	+++	-
NIÉBÉ, feuilles <i>Vigna unguiculata</i>														++	+++	++
AMARANTE, feuilles <i>Amaranthus spp.</i>														+++	+++	-
MORINGA, graines <i>Moringa oleifera</i>														++	++	++
<b>ALIM. BASE</b>																
MILLET PERLE <i>Pennisetum glaucum</i> <sup>2*</sup>														++	-	-
SORGHO <i>Sorghum bicolor</i>														-	-	-
MAÏS, doux, jaune <i>Zea mays</i> <sup>1*</sup>														-	-	-
<b>LÉGUMINEUSES</b>																
HARICOT MUNGO <i>Vigna radiata</i> <sup>1*, 2*</sup>														-	++	-
NIÉBÉ <i>Vigna unguiculata</i> <sup>2*</sup>														-	++	-
HARICOTS <i>Phaseolus vulgaris</i> <sup>1*, 2*</sup>														-	-	-
ARACHIDE <i>Arachis hypogaea</i>														+++	+++	-

**NOTES :**  
 a Les fruits et les noix réfèrent à des aliments crus, tandis que les aliments de base, les légumineuses et les légumes sont représentés par leur forme cuite (bouillie).  
 b Vitamine A (calculs basés sur l'équivalent rétinol de la vitamine A = rétinol + 1/6 bêta-carotène + 1/12 alpha-carotène + 1/12 bêta-cryptoxanthine). Les données sont exprimées pour 100 g de poids frais de la partie comestible.  
 \* le plus vendu  
 \*\* le plus consommé  
 1, 2 selon les priorités des agriculteurs (aliments de base et légumineuses considérés ensemble)

**CLÉ :**

+++	Source élevée	□	Pas de source
++	Source	■	Aucune donnée disponible
-	Présent, mais source faible		

La production alimentaire des petits exploitants en Afrique subsaharienne est dominée par les cultures vivrière riches en féculents. La disponibilité d'espèces cultivées riches en micronutriments, comme les fruits et légumes, dépend fortement des saisons, ce qui explique en partie leur faible consommation en plus d'une infrastructure limitée de la chaîne de valeur, des prix élevés et du manque de sensibilisation des consommateurs. Les arbres fournissent près de 60 % des fruits dans le monde ; ce sont ainsi des pourvoyeurs importants de fruits, y compris pour les systèmes alimentaires locaux. **En tenant compte de la saisonnalité de la production, des portefeuilles d'arbres vivriers peuvent être promus afin de garantir, tout au long de l'année, les récoltes et l'apport de micronutriments essentiels aux régimes alimentaires<sup>(1)</sup>.** Grâce à un processus itératif, ces sélections de portefeuilles d'arbres sont élaborés conjointement avec les communautés locales en fonction de leurs préférences, de leurs priorités alimentaires, de leurs revenus et des autres utilisations, et sont ainsi adaptés au site. Des outils normalisés, notamment des enquêtes, permettent de collecter les informations sur la diversité de la production agricole et la consommation alimentaire, en plus des discussions de groupe mises en place pour déterminer les espèces à inclure, leurs mois de production et leur valeur nutritionnelle. Cette approche agroécologique a permis d'élaborer des recommandations adaptées à la production d'un ensemble diversifié d'espèces d'arbres fruitiers et vivriers (y compris des espèces sous-utilisées), de légumes, de légumineuses et de cultures vivrières. En plus de combler les périodes sans récolte, certaines insuffisances en nutriments sont gérées en cartographiant la valeur nutritionnelle des espèces d'arbres sélectionnées à l'aide de données sur la composition des aliments.



suiv.

#### ▲ Un catalogue d'arbres fruitiers et vivriers à Igambe Ngombe, comté de Tharaka Nithi, Kenya.

Diverses espèces d'arbres fruitiers et vivriers, de légumes, de légumineuses et de cultures vivrières complémentaires, sont classées par ordre de priorité avec les communautés locales, et cartographiées selon les mois de récolte saisonnière et leurs valeurs en micronutriments afin de pallier aux interruptions de récoltes saisonnières et aux carences en micronutriments dans les régimes alimentaires locaux. © ICRAF

Les micronutriments, les vitamines A et C, le fer et les folates, inclus dans les aliments issus des arbres, sont classés par ordre de priorité pour répondre aux préoccupations de santé publique sur la base de leurs fonctions de soutien et de leur quantité naturellement élevée. Pour simplifier ces informations nutritionnelles, un système de notation accompagne ces portefeuilles personnalisés afin d'aider la sélection d'espèces. Toutefois, les données sur les espèces sous-utilisées sont limitées – une lacune de connaissances due à l'insuffisance des investissements, et donc de la recherche –, empêchant ces espèces de contribuer aux systèmes alimentaires locaux. Les portefeuilles d'espèces fruitières ou vivrières sont promus auprès des communautés via les centres d'innovation et les programmes scolaires, qui permettent autant

de partager les informations agronomiques et nutritionnelles que de faciliter l'accès à du matériel de plantation de qualité. Des semences et des plants de qualité sont essentiels : l'attention portée aux systèmes de distribution du matériel végétal est un facteur clé pour intégrer les arbres sous-utilisés ou « orphelins »<sup>(2)</sup>. **Ces portefeuilles d'espèces d'arbres « sur mesure » renforcent**

**Contact**

Stepha McMullin (ICRAF, CGIAR, Kenya), s.mcmullin@cgiar.org

**Autres auteurs**

Barbara Stadlmayr (ICRAF, CGIAR, Kenya/Université des ressources naturelles et des sciences de la vie, Autriche)  
Erick Ngethe, Roeland Kindt et Ramni Jamnadass (ICRAF, CGIAR, Kenya)

**la résilience alimentaire saisonnière et la diversification des régimes alimentaires dans les systèmes alimentaires locaux.**

**Plus d'informations**

(1) McMullin S., Njogu, W. W., Gachui A., Ngethe E., Stadlmayr B., Jamnadass R., Kehlenbeck K., 2019. Developing fruit tree portfolios that link agriculture more effectively with nutrition and health: a new approach for providing year-round micronutrients to smallholder farmers. *Food Security*, 11: 1355-1372. <https://doi.org/10.1007/s12571-019-00970-7>

(2) McMullin S., Stadlmayr B., Mausch K., Revoredo-Giha C., Burnett F., Guarino L., Brouwer I.D., Jamnadass R., Graudal L., Powell VV., Dawson I., 2021. Determining appropriate interventions to mainstream nutritious orphan crops into African food systems. *Global Food Security*, 28. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100465>

## Synergies et compromis entre diversité culturelle, rendement nutritionnel et revenus agricoles dans la région des Grands Lacs d'Afrique centrale

La gestion de la biodiversité et la diversification économique sont deux principes clés de l'agroécologie<sup>(1)</sup>. Les systèmes agricoles diversifiés contribuent à intégrer les bénéfices écologiques et économiques pour une agriculture durable<sup>(2)</sup>. Cependant, on suppose parfois qu'il existe des compromis entre la diversité des cultures et la productivité ou les revenus<sup>(2,3)</sup>. Les performances écologiques et économiques des pratiques de diversification agricole dépendent fortement du contexte<sup>(2)</sup>. En utilisant les données de la base Cialca<sup>(4)</sup>, nous avons testé cette hypothèse dans le contexte des Grands Lacs africains. La base Cialca inclut un ensemble de données développé pendant 10 ans de recherche au Rwanda, au Burundi et en République démocratique du Congo (RDC) dans

le cadre du Consortium pour l'amélioration des moyens d'existence basés sur l'agriculture en Afrique centrale (Cialca)\*; elle contient **des informations sur les ménages et l'agriculture de plus de 4 000 ménages agricoles au Rwanda, au Burundi et en RDC**<sup>(4)</sup>. En analysant la base Cialca à l'échelle des exploitations, **aucun compromis n'a été identifié entre diversité culturelle et revenus, ou bien entre diversité culturelle et productivité totale** (figures A et B). En complément, nous avons également analysé la relation existant entre diversité des cultures à l'échelle des exploitations et rendements nutritionnels, pour neuf macro- et micronutriments. Nous avons constaté une tendance « n » de la diversité des cultures et des rendements en nutriments à l'échelle des

exploitations, les rendements nutritionnels étant les plus élevés dans les exploitations produisant trois ou quatre cultures et les plus faibles dans celles avec une ou six cultures (figure C). Les résultats de ce travail suggèrent que **la gestion de la diversité culturelle à l'échelle de l'exploitation pourrait être bénéfique pour les rendements nutritionnels et sans compromis sur le rendement total ou les revenus.**

\* Cialca : [www.cialca.org](http://www.cialca.org)

**Contacts**

Rhys Manners (IITA, CGIAR, Rwanda), r.manners@cgiar.org

Roseline Remans (Alliance of Bioversity International and CIAT, CGIAR, Belgique), r.remans@cgiar.org

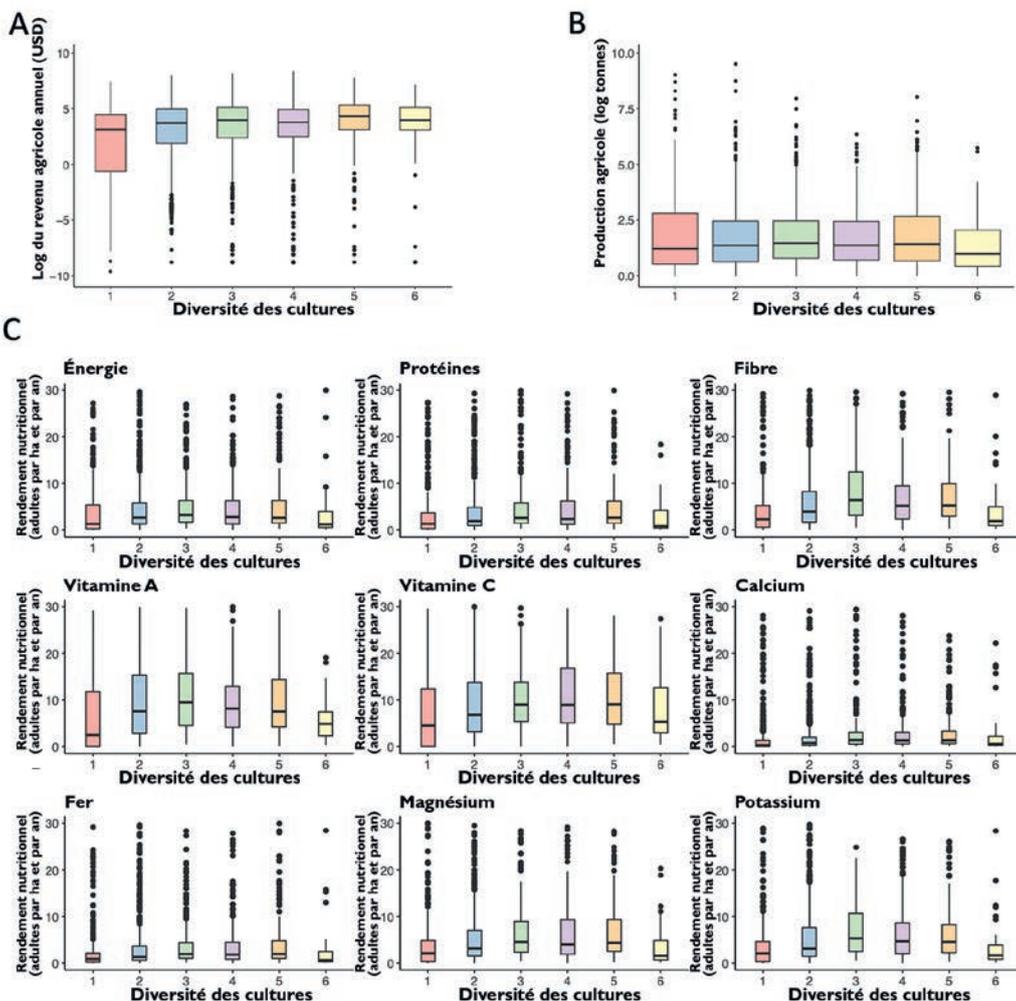
**Plus d'informations**

(1) HLPE, 2019. *Agroecological and other innovative approaches for sustainable agriculture and food systems that enhance food security and nutrition*. A report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security, Rome.

(2) Rosa-Schleich J., Loos J., Mußhoff O., Tschamtko T., 2019. Ecological-economic trade-offs of diversified farming systems – A review. *Ecological Economics*, 160: 251-263. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.03.002>

(3) Mugwanya N., 2019. Why agroecology is a dead end for Africa. *Outlook on Agriculture*, 48(2): 113-116. [doi:10.1177/0030727019854761](https://doi.org/10.1177/0030727019854761)

(4) Indicateurs de base de Cialca : [https://cialca.shinyapps.io/cialca\\_base\\_2files](https://cialca.shinyapps.io/cialca_base_2files)



◀ Dans le contexte de la Cialca des Grands Lacs, les relations entre le revenu (log USD) (international 2019) (fig. A) et la diversité des cultures, la production agricole totale (log tonne) et la diversité des cultures (fig. B), les rendements nutritionnels (nombre d'adultes qui obtiennent 100 % de leur RDA/ha/an) et la diversité des cultures (fig. C). La figure a été conçue par les auteurs à partir des données de la base Cialca, de plus de 4 000 petites exploitations agricoles dans la région des Grands Lacs en République démocratique du Congo, au Rwanda et au Burundi.

## Reconnecter consommateurs et producteurs par des réseaux alimentaires alternatifs

Reconnecter consommateurs et producteurs par le biais de réseaux alimentaires alternatifs est une étape clé de la transition vers des systèmes alimentaires durables basés sur leur caractère local, l'équité et la justice<sup>(2)</sup>. Les interventions qui renforcent les données sur la valeur nutritionnelle de divers aliments, mettent en place des politiques et des marchés favorables aux agriculteurs familiaux et à leurs produits agroécologiques, utilisent de manière créative et célèbrent une diversité alimentaire à la fois nutritive, savoureuse et culturellement pertinente, œuvrent à cette reconnexion. Le projet « Biodiversity for food and nutrition » (BFN)\* utilise une approche intersectorielle avec différentes parties prenantes au Brésil, au Kenya, au Sri Lanka et en Turquie ; les récentes réalisations et enseignements qui en sont tirés<sup>(1,3)</sup> montrent comment des pays peuvent accélérer cette transition. **Collectivement, ces quatre pays ont déterminé la valeur nutritionnelle de près de 200 espèces de plantes alimentaires indigènes, et ont mis**

**à disposition ces données via des bases de données nationales et la base mondiale FAO/Infoods. Ces connaissances ont été utilisées de nombreuses façons originales.** La première liste officielle brésilienne d'espèces alimentaires indigènes à valeur nutritionnelle a récemment été compilée ; cette ordonnance définit et reconnaît officiellement plus de 100 espèces alimentaires indigènes. Cela a permis de cibler des politiques de soutien à l'agroécologie et aux marchés déjà existants (par exemple, le programme national d'alimentation scolaire, PNAE), qui offrent des incitations aux agriculteurs familiaux et pour les produits agroécologiques. Cette ordonnance soutient également le développement de labels de qualité reconnaissant les produits alimentaires issus de l'agriculture familiale et du Quilombos do Brasil, et reconnaît les aliments culturellement pertinents dans les directives alimentaires nationales. Au Kenya, les écoles ont été reconnues comme étant de nouveaux marchés émergents pour les petits exploitants agricoles utilisant des pratiques agroécologiques,

et ce afin de fournir des aliments biodiversifiés pour les repas scolaires. La collaboration avec des chefs célèbres, l'éducation, les jardins scolaires, la sensibilisation du public et les salons de l'alimentation – comme le festival Alaçatı en Turquie et les points de vente de produits alimentaires *Helabojun* qui améliorent les moyens de subsistance des femmes au Sri Lanka – ont tous contribué à faire connaître la diversité alimentaire, à rétablir le lien entre producteurs et consommateurs et à promouvoir une alimentation saine et durable.

\* Projet BFN : [www.cgiar.org/innovations/biodiversity-for-food-and-nutrition/](http://www.cgiar.org/innovations/biodiversity-for-food-and-nutrition/)

### Contacts

Teresa Borelli (Alliance of Bioversity International and CIAT, CGIAR, Italie), [t.borelli@cgiar.org](mailto:t.borelli@cgiar.org)

Danny Hunter (Alliance of Bioversity International and CIAT, CGIAR, Australie), [d.hunter@cgiar.org](mailto:d.hunter@cgiar.org)

### Plus d'informations

(1) Gee E., Borelli T., Beltrame D.M.O., Oliveira C.N.S., Coradin L., Wasike V., Manjella A., Samarasinghe G., Güner B., Tan A., et al., 2020. The ABC of mainstreaming biodiversity for food and nutrition. Concepts, theory and practice. In Hunter D., et al. (eds): *Biodiversity food and nutrition. A new agenda for sustainable food systems*. Routledge: Abingdon, UK.

(2) Gliessman S.R., 2007. *The ecology of sustainable food systems*. CRC Press, Taylor & Francis New York, US.

(3) Hunter D., Borelli T., Beltrame D., Oliveira C., Coradin L., Wasike V., Mwai J., Manjella A., Samarasinghe G., Madhujith T., Nadeeshani H., Tan A., Tugrul Ay S., Güzelsoy N., Lauridsen N., Gee E., Tartanac F., 2019. The potential of neglected and underutilized species for improving diets and nutrition. *Planta*, 250(3): 709-729.

(4) Hunter D., Borelli T., Gee E., 2020. *Biodiversity, food and nutrition: a new agenda for sustainable food systems*. Routledge, UK.

<https://cgispace.cgiar.org/handle/10568/108172>



▲ Élaborer de nouvelles recettes à partir d'aliments traditionnels avec des nutritionnistes et des chefs célèbres a renouvelé l'intérêt porté aux aliments oubliés. © S. Landersz/Projet BNF/Alliance of Bioversity International and CIAT

## Les fruits sauvages des forêts de Zambie

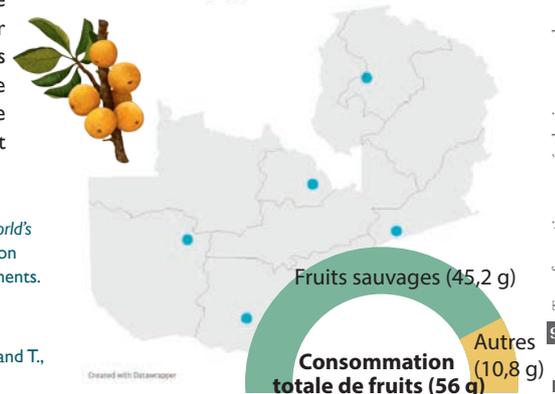
Dans le monde entier, des communautés collectent et consomment des aliments sauvages provenant des forêts. La collecte d'aliments sauvages peut être considérée comme faisant partie d'un continuum allant de la gestion des habitats naturels à l'agroécologie. En effet, de nombreuses sources d'aliments sauvages sont gérées par les communautés dans leurs habitats naturels (notamment les forêts), tandis que les agriculteurs orientés vers l'agroécologie gèrent les processus naturels dans leurs champs cultivés. En outre, de nombreuses sources d'aliments sauvages peuvent être domestiquées et intégrées dans les systèmes agroécologiques sur la ferme. Cependant, les données quantitatives concernant les aliments sauvages, notamment les modes de collecte variés dans les pays ou la production dans les fermes, sont rarement prises en compte dans les

statistiques nationales ou internationales. La gestion durable des ressources forestières et des terres agricoles qui fournissent ces aliments est essentielle, et l'agroécologie peut contribuer à cet objectif. Mieux évaluer les volumes d'aliments sauvages récoltés, échangés et consommés peut éclairer les politiques agroécologiques et les programmes nationaux de sécurité alimentaire et de nutrition.

En 2019, le CIFOR, en collaboration avec l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), a mené un projet de recherche visant à mesurer la collecte et la consommation d'aliments sauvages en Zambie. L'étude s'est intéressée à une période rétrospective d'un an pour appréhender la nature saisonnière de la plupart des aliments sauvages, et a développé une méthode innovante pour quantifier la collecte par les ménages. Le projet a été mené dans cinq régions englobant

toutes les zones agroécologiques du pays. Sur un échantillon de 209 ménages, **les fruits sauvages forestiers contribuent à environ 80 % de l'apport total effectif en fruits et à environ 25 % de l'apport recommandé en fruits ; autrement dit, les Zambiens sont loin de respecter les recommandations nutritionnelles en matière de consommation de fruits (figure), mais les fruits sauvages y contribuent de façon importante.** Cela souligne l'importance de conserver et de gérer durablement les forêts et les agroécosystèmes qui peuvent produire ces aliments.

### Sites d'étude du projet CIFOR en Zambie



### Contacts

Amy Ickowitz (CIFOR, CGIAR, Indonésie), [a.ickowitz@cgiar.org](mailto:a.ickowitz@cgiar.org)

E. Ashley Steel (FAO, Italie), [ashley.steel@fao.org](mailto:ashley.steel@fao.org)  
Lubomba Bwembelo (CIFOR, CGIAR, Zambie), [lubombabwembelo@gmail.com](mailto:lubombabwembelo@gmail.com)

### Autres auteurs

Akatama Mulani, Alice Likando Masheke Siamutondo, Penias Banda, Davison Gumbo et Kaala Moombe (CIFOR, CGIAR, Zambie)

### Plus d'informations

• Bélanger J., Pilling D. (eds.), 2019. *The state of the World's biodiversity for food and agriculture*. FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture Assessments. FAO, Rome, 572 p. [www.fao.org/3/CA3129EN/CA3129EN.pdf](http://www.fao.org/3/CA3129EN/CA3129EN.pdf)

• Rowland D., Ickowitz A., Powell B., Nasi R., Sunderland T., 2017. Forest foods and healthy diets: quantifying the contributions. *Environmental Conservation*, 44(2): 102-114.



La régionalisation des systèmes alimentaires est un objectif politique et social qui tend à réduire la longueur des chaînes d'approvisionnement et à développer l'agriculture locale pour nourrir les zones urbaines, soulevant des défis spécifiques en matière d'aménagement du territoire et de politique alimentaire. Dans ce cadre, les approches mobilisant la notion de « bassin alimentaire » (*foodshed*, dans la littérature anglophone) évaluent la capacité d'autosuffisance alimentaire d'une région donnée. Toutefois, ces approches présentent un certain nombre de limites, au premier rang desquelles la difficile prise en compte de l'hétérogénéité des produits cultivés et des filières de distribution. Il en résulte une cartographie de bassins alimentaires qui tend plus à être un cercle isotrope autour de la ville qui ne tient pas finement compte des spécificités pédoclimatiques, géographiques et socio-économiques de la zone. De plus, la prise en compte de la nature multiscale des systèmes alimentaires reste un défi scientifique majeur dont la résolution permettrait d'intégrer la vision locale des acteurs à l'analyse des données statistiques globales et favoriserait ainsi une régionalisation des politiques de sécurité alimentaire. Afin de combler cette lacune, nous avons développé une **méthodologie systémique reliant approches modélisatrice et participative, à différents niveaux spatiaux (méditerranéen, régional, local)\***. Nos résultats montrent que l'analyse du bassin alimentaire peut dépasser la simple estimation d'une taille théorique isotrope et s'enrichir par la prise en compte d'une configuration spatiale inhérente, à la fois, à la nature et la localisation des productions agricoles (agrégées par groupes de commercialisation), ainsi que de caractéristiques biophysiques et socio-économiques. Le bassin alimentaire devient alors un complexe de zones discontinues mais complémentaires, que nous

appelons « **archipel alimentaire** » (figure). **Cette méthodologie est prometteuse dans le contexte de la transition agroécologique vers des systèmes alimentaires durables car elle met en évidence les mécanismes qui relient les aspects globaux et locaux.** Elle peut également être utilisée comme support d'une démarche participative reposant sur les connaissances des acteurs locaux et des experts reliant l'environnement, l'économie et la société, et tendant à construire une vision collective partagée de la transformation des systèmes alimentaires.

Au sein de laboratoires d'innovation sociale (*living lab*, dans la littérature anglophone)\*\*, nous avons analysé le rôle de la **commande publique** (l'approvisionnement des écoles avec de produits locaux bio), en tant que **moteur d'écologisation des systèmes alimentaires des villes**; notamment à partir des agricultures locales. Nous avons ainsi souligné le rôle crucial de la commande publique dans l'instauration d'alliances stratégiques entre acteurs territoriaux. De plus, nous avons analysé les conditions permettant d'approfondir la transition « de la fourchette à la fourche » - formellement de la restauration scolaire au système alimentaire territorial (*scale up*) - afin d'en faire bénéficier tous les mangeurs<sup>(2)</sup>. Au-delà de l'apport méthodologique (la modélisation multi-niveaux<sup>(1)</sup>), les résultats sont des connaissances utiles à la mise en œuvre de stratégies alimentaires urbaines (par exemple, des programmes d'introduction de produits frais, locaux et bios dans les menus de la restauration scolaire) et permettent d'éclairer les décisions publiques en matière d'aménagement du territoire (par exemple, l'outil de diagnostic des agricultures périurbaines développé en collaboration avec les sociétés publiques d'aménagement foncier et d'établissement rural, Safer).

\* Projet Divercrop (2017/2021, Arimnet2). Land system dynamics in the Mediterranean Basin across scales as relevant indicator for species diversity and local food systems : <https://divercropblog.wordpress.com>

\*\* Projet de recherche-action Aliville (2016/2019, Fondation de France), Participative foresight for the re-location of urban agri-food system and supply of Avignon public canteens with local products; Projet H2020 FoodSHIFT 2030 (2020-2024, H2020-SFS-2018-2020), Food system hubs innovating towards fast transition by 2030 : <https://foodshift2030.eu>.

#### Contacts

Esther Sanz Sanz (Ecodéveloppement, INRAE, France/Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research, Allemagne), [esther.sanz-sanz@inrae.fr](mailto:esther.sanz-sanz@inrae.fr)

Claude Napoléone (Ecodéveloppement, INRAE, France), [claudenapoleone@inrae.fr](mailto:claudenapoleone@inrae.fr)

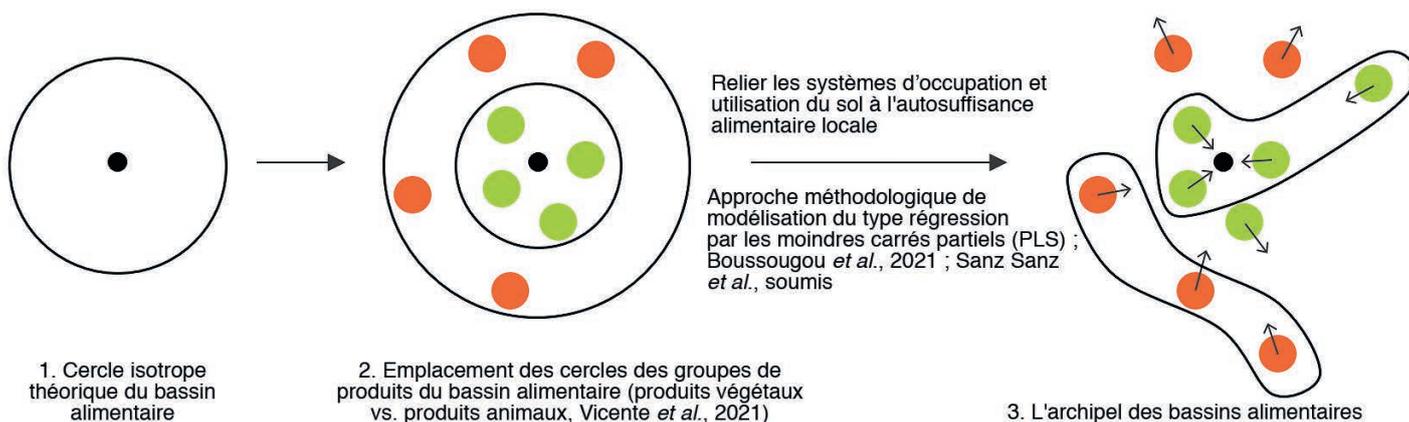
Michel Mouléry (Ecodéveloppement, INRAE, France), [michel.moulery@inrae.fr](mailto:michel.moulery@inrae.fr)

#### Plus d'informations

(1) Boussougou G., Sanz Sanz E., Napoléone C., Martinetti D., 2021. Identifying agricultural areas with potential for city connections: a regional-scale methodology for urban planning. *Land Use Policy*, 103: 105321. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105321>

(2) Sanz Sanz E. (in press), Public procurement as a booster of medium-scale food supply chains. The case of Avignon, France. In Swenson L., et al. (eds): *Public food procurement for sustainable food systems and healthy diets*. FAO, UFRGS and Bioversity International.

(3) Vicente-Vicente J.L., Sanz-Sanz E., Napoléone C., Moulery M., Piore A., 2021. Foodshed, agricultural diversification and self-sufficiency assessment: beyond the isotropic circle foodshed. A case study from Avignon (France). *Agriculture*, 11: 143. <https://doi.org/10.3390/agriculture11020143>



1. Cercle isotrope théorique du bassin alimentaire

2. Emplacement des cercles des groupes de produits du bassin alimentaire (produits végétaux vs. produits animaux, Vicente *et al.*, 2021)

3. L'archipel des bassins alimentaires

▲ Approche méthodologique en trois étapes utilisée pour passer de l'évaluation de la taille d'un bassin alimentaire (cercle isotrope) à son évaluation en tant que complexe de composantes complémentaires (archipel de bassins alimentaires).

## Agriculture urbaine et impacts nutritionnels, sanitaires et environnementaux à Bamako, Mali

Les grandes métropoles africaines comme celle de Bamako au Mali font face à une forte croissance démographique et à des changements environnementaux qui engendrent des modifications des modes de vie des populations, notamment des modes de consommation alimentaire, ainsi qu'un développement peu contrôlé de l'agriculture urbaine et périurbaine. Face à ces enjeux alimentaires et environnementaux, il est essentiel d'évaluer la situation précise de l'environnement alimentaire et sanitaire de Bamako. Le projet Agrisan\*, financé par l'Ambassade de France au Mali, vise à caractériser les modes de consommation alimentaire des ménages et leurs conséquences en termes de santé publique, de risques sanitaires et environnementaux, ainsi que les pratiques agricoles urbaines et périurbaines, pour établir des recommandations pour la mise en œuvre de politiques de prévention adaptées. Un accent particulier est mis sur les modes de consommation alimentaire des populations urbaines et leurs impacts sur la santé, plus particulièrement sur les maladies non transmissibles, et sur l'état nutritionnel des femmes et des enfants.

Un suivi des pratiques agricoles en termes d'utilisation des pesticides en zone maraîchère et leurs impacts sur les eaux a été réalisé. L'analyse des résidus de pesticides dans les eaux d'irrigation pour le maraîchage est en cours par chromatographie à l'aide d'un UPLC (*ultra performance liquid chromatography*) du Laboratoire de biologie moléculaire appliquée (LBMA) de Bamako. Nous avons sélectionné 14 matières actives à la base des pesticides utilisés pour le maraîchage qui présentent des risques pour l'environnement (par exemple l'acétochlore, le paraquat, le profenofos). Les bénéficiaires directs de ce projet sont le District de Bamako, les ministères de la Santé et de l'Environnement, les ONG, le secteur de l'enseignement supérieur et de la recherche et l'Institut d'économie rurale (IER), ainsi que la population urbaine, notamment



▲ Boutique alimentaire de type kiosque.  
© Y. Kameli/IRD/Moisa

les producteurs/productrices qui pourraient bénéficier d'une meilleure productivité couplée à une qualité améliorée des produits proposés, et les consommateurs qui accéderont ainsi à des denrées alimentaires saines issues de circuit de distribution courts.

\*Projet Agrisan (Agriculture urbaine sécurité alimentaire et nutritionnelle) au Mali (vidéo) : [www.youtube.com/watch?v=4hB7gqQI5Yk&pbjreload=101](https://www.youtube.com/watch?v=4hB7gqQI5Yk&pbjreload=101)

### Contacts

Marjorie Le Bars (Sens, IRD, France),  
[marjorie.le-bars@ird.fr](mailto:marjorie.le-bars@ird.fr)

Yves Kameli (Moisa, IRD, France), [yves.kameli@ird.fr](mailto:yves.kameli@ird.fr)

### Plus d'informations

Kameli Y., Meunier J., Besancon S., Savy M., Martin-Prevel Y., 2020. Alarming rates of obesity and diabetes in urban Africa: a case study in Bamako, Mali. *Current Developments in Nutrition*, 4(2): 215.  
[https://doi.org/10.1093/cdn/nzaa043\\_066](https://doi.org/10.1093/cdn/nzaa043_066)



▲ Agriculteur sans protection, traitant son champ avec un herbicide. © M. Le Bars, IRD/Sens

## Transition vers une alimentation saine, durable et locale en milieu rural : TEASER-lab à Mirecourt, France



▲ Travaux collectifs rassemblant des publics d'association et des personnels techniques sur une parcelle de légumes de plein champ. © R. Fêche

Le territoire rural de Mirecourt (plaine des Vosges) vit les réalités difficiles d'une déprise face à l'urbanisation de nos sociétés : démographie négative, fuite progressive des emplois, augmentation du chômage et de la pauvreté, agriculture ultra spécialisée et produisant des matières premières à destination de l'industrie agroalimentaire (lait, viande bovine et céréales) dans les systèmes agricoles conventionnels mais aussi souvent dans ceux sous certification biologique. En 2016, une convergence d'envies de changements amorce rencontres et échanges entre des organisations associatives et institutionnelles (dont INRAE Mirecourt<sup>(1)</sup>) du territoire et permet l'émergence d'un projet commun : contribuer à une transition du territoire en agissant de manière concertée pour une alimentation saine, locale, durable et créatrice d'emplois.

suiv.

La transition engagée sur Mirecourt repose sur un postulat : la transition sociétale nécessite une forte implication d'une diversité de personnes dont l'engagement repose sur la capacité à participer à la définition d'un futur et est facilitée par la diversité des modalités d'engagement<sup>(2)</sup>. Ainsi, les acteurs coopèrent dans ce projet sur la base d'actions (activités de production sur des jardins et parcelles de légumes partagés, mise en place de points de dépôt de produits bio et locaux<sup>(3)</sup>, repas à partir de produits bios et locaux en accueils de loisirs, etc.), et de valeurs partagées (coopération, confiance, éducation, attention aux autres et aux milieux). **Cette entrée par l'action donne une place centrale à différentes formes de participation dans le projet : réflexion, organisation, réalisation des actions.** Ce projet collectif amorce une transition du territoire environnant Mirecourt vers l'agroécologie à divers

titres<sup>(4)</sup> : l'action collective et la création de communs contribuent à une émancipation politique des personnes impliquées ; les choix agricoles, mais aussi culinaires faisant place à des produits issus d'une agriculture biologique, renforcent une production écologique ; des populations généralement exclues (migrants, personnes en situation de handicap, personnes devant s'adresser à l'aide alimentaire) sont associées au projet et retrouvent ainsi une place dans le territoire.

**Contacts**

Fabienne Barataud (Aster, INRAE, France), [fabienne.barataud@inrae.fr](mailto:fabienne.barataud@inrae.fr)  
 Xavier Coquil (Territoires, INRAE, France), [xavier.coquil@inrae.fr](mailto:xavier.coquil@inrae.fr)

**Plus d'informations**

- (1) Coquil X., Anglade J., Barataud F., Brunet L., Durpoix A., Godfroy M., 2019. TEASER-lab : concevoir un territoire pour une alimentation saine, localisée et créatrice d'emplois à partir de la polyculture-polyélevage autonome et économe. La diversification des productions sur le dispositif expérimental Aster-Mirecourt. *Innovations Agronomiques*, 72: 61-75.
- (2) Gamache G., Anglade J., Fèche R., Barataud F., Mignolet C., Coquil X., 2020. Can living labs offer a pathway to support local agri-food sustainability transitions? *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 37: 93-107.
- (3) Fèche R., Barataud F., 2019. Agroecological farmers' cooperation for shared commercialisation and rural population access to healthy food: is living-lab a support? Presented at European Society of Rural Sociology (ESRS) in Trondheim (Norway) in June 2019.
- (4) Coquil X., Barataud F., Fèche R., 2021. À Mirecourt, l'autre façon de vivre la transition. Billet publié sur le site Visionscarto le 5 janvier 2021 : <https://visionscarto.net/mirecourt>

## Recyclage des nutriments contenus dans les déchets

### Un chaînon manquant du système alimentaire territorial

**B**ien que le recyclage en agriculture des produits résiduels organique (Pro) soit une pratique séculaire à l'échelle parcellaire, cette valorisation est, de nos jours, largement absente dans les situations où d'importants volumes de Pro de multiples origines (fumiers, lisiers, composts, boues de station d'épuration, effluents industriels) s'accumulent dans des territoires contraints. L'agenda agroécologique milite pour sa réintroduction, mais sa mise en œuvre dans de tels territoires et agroécosystèmes complexes passe par l'organisation de véritables filières de valorisation nécessitant une démarche concertée entre de multiples acteurs. **Sur la base d'une recherche analytique appliquée spécifique à un territoire, nos travaux aident à concevoir des scénarios d'un tel recyclage, validés de tous.**

Une démarche originale et générique a été déployée dans l'ouest de l'île de La Réunion\*. En effet, outre des gisements de Pro en augmentation et des épandages contraints, les difficultés d'organisation

et de gestion d'une filière de recyclage des Pro à l'échelle territoriale trouvent leur origine dans l'inadéquation des interactions entre les producteurs de Pro et les utilisateurs finaux, et non d'un excès structurel. La mise en œuvre d'une démarche participative à trois niveaux de concertation articulés (figure), étalée sur plusieurs années, a permis d'aboutir à plusieurs scénarios. Un scénario « minimal » consiste à produire un co-compost à base d'effluents d'élevage et de déchets verts. Un scénario « optimal » développe le premier scénario par l'émergence d'une seconde filière produisant des engrais organiques et organo-minéraux. Cependant, l'utilisation de fertilisants concentrés, imposée par les nombreuses contraintes du territoire, limite le potentiel de bénéfices agroécologiques *in situ*. Toutefois, la réalisation du scénario optimal permettrait à terme de réduire de moitié, voire plus, l'utilisation d'engrais importés sur le territoire d'étude. La démarche continue de faire l'objet de recherches. Sa mise en œuvre est en préparation dans plusieurs systèmes alimentaires et nexus urbain-rural

en Afrique subsaharienne et Amérique du Sud, où l'opérationnalisation du système territorial d'étude s'appuiera sur le concept d'espace fonctionnel plutôt que d'espace géographique (comme en situation insulaire réunionnais).

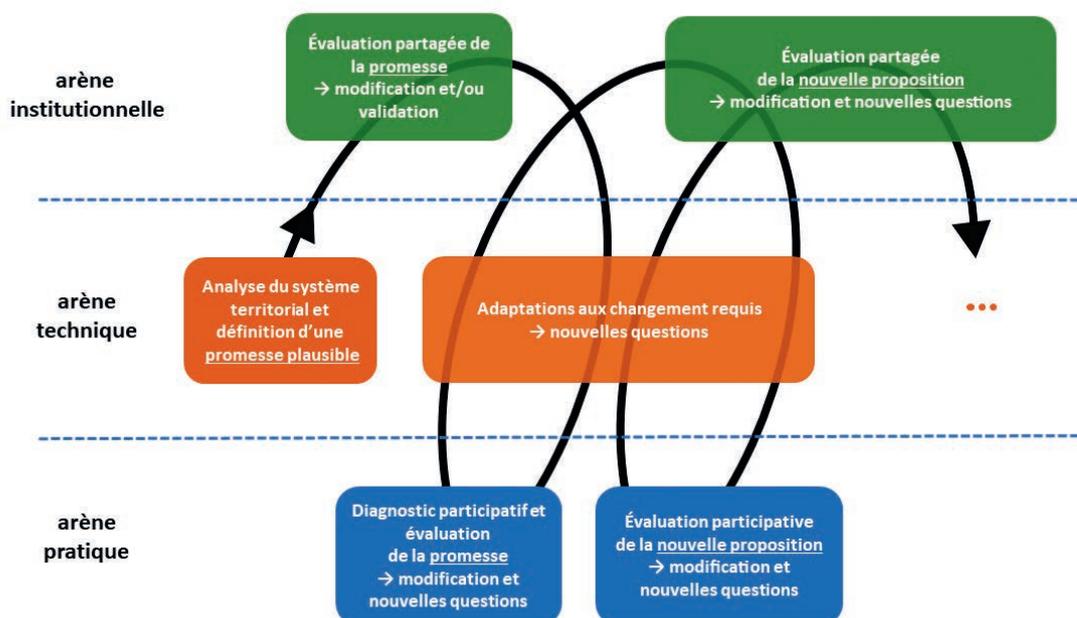
\* Projet Girovar : Gestion intégrée des résidus organiques par la valorisation agronomique à la Réunion.

**Contacts**

Tom Wassenaar (Recyclage et risque, Cirad, France), [tom.wassenaar@cirad.fr](mailto:tom.wassenaar@cirad.fr)  
 Frédéric Feder (Recyclage et risque, Cirad, France), [frederic.feder@cirad.fr](mailto:frederic.feder@cirad.fr)

**Plus d'informations**

- Queste, J., Wassenaar, T., 2019. A practical dialogue protocol for sustainability science to contribute to regional resources management: its implementation in Réunion. *Natural Resources Forum*, 43(1): 3-16.
- Wassenaar T., Queste, J., Paillat, J.-M., 2016. Le recyclage agricole des résidus organiques : une ressource naturelle pour en préserver d'autres. *Agronomie, Environnement & Société*, 6(1): e12.



▲ Processus itératif de co-conception. Adapté de Queste & Wassenaar (2019)

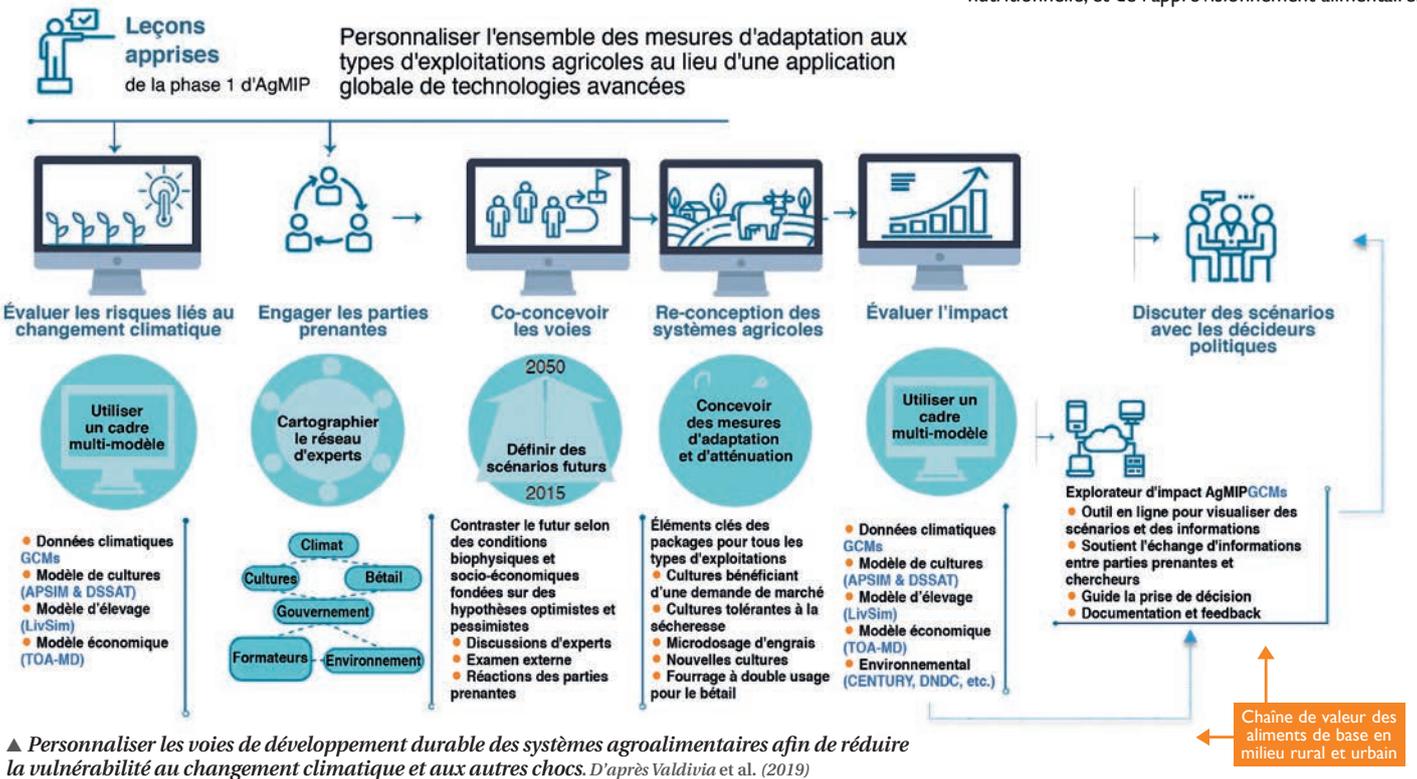
# Renforcer les liens entre recherche et politiques publiques pour la transformation des systèmes agroalimentaires au Zimbabwe

**A**u Zimbabwe<sup>(1)</sup>, les vulnérabilités des systèmes agroalimentaires reflètent les multiples crises qui se superposent et menacent la sécurité alimentaire. Elles offrent également une opportunité pour renforcer et transformer les systèmes alimentaires locaux afin d'améliorer les conditions économiques, la durabilité environnementale et la résilience aux chocs à venir. Afin d'identifier des voies de développement équitables et durables, notre analyse a combiné une approche de modélisation intégrée<sup>(2)</sup> et des stratégies agricoles conçues conjointement avec des experts nationaux de différents secteurs. Nous avons examiné comment des systèmes agricoles spécifiques culture-élevage pouvaient être adaptés pour faire face aux perturbations des systèmes alimentaires dues au changement climatique et à la Covid-19. **Nous avons identifié les vulnérabilités des agriculteurs et les conséquences économiques auxquelles ils sont confrontés ainsi que des mécanismes de défense innovants des autres acteurs des systèmes alimentaires et les réponses des chaînes de valeur. En particulier, nous avons identifié des leviers de transition vers**

**une plus grande diversification des aliments produits localement afin de renforcer la sécurité alimentaire et nutritionnelle des populations les plus vulnérables.**

Le changement climatique menace les systèmes agricoles, en particulier les exploitations possédant de grands troupeaux de bovins, en raison des pénuries alimentaires pour le bétail. Les restrictions de mobilité imposées par les confinements liés à la Covid-19 ont aggravé les impacts à long terme, entraînant une perte des moyens de subsistance, de la sécurité alimentaire, nutritionnelle et des revenus, de la sécurité et du bien-être, en particulier des femmes et des filles. Différentes approches stratégiques<sup>(3)</sup> de développement agricole durable seraient de cultiver des légumineuses alimentaires et fourragères en quantités nettement plus importantes dans les systèmes agricoles, de soutenir l'amélioration de la fertilité organique des sols et de posséder plus de bétail, en particulier pour les agriculteurs pauvres en ressources. Cependant, pour parvenir à une croissance durable des revenus agricoles, à des moyens d'existence améliorés et à des systèmes agricoles résilients,

**ces approches doivent être accompagnées d'investissements dans les infrastructures des marchés de production et d'intrants, dans des technologies d'amélioration de la productivité qui soient respectueuses de l'environnement, et dans des interventions de développement inclusives.** Nos analyses ont permis de mieux comprendre comment les efforts concertés des différents acteurs des systèmes alimentaires, y compris les décideurs, contribuent à accroître plus efficacement la mise à disposition et l'accès aux aliments nutritifs en encourageant la diversification de la production alimentaire. Les résultats renseignent aussi les parties prenantes et les décideurs politiques au niveau national<sup>(4)</sup> sur les systèmes alimentaires équitables et durables, via une base de connaissances sur les blocages, les inefficacités et opportunités des chaînes de valeur alimentaires. Ces résultats alimenteront la co-conception en cours de stratégies à moyen terme du gouvernement du Zimbabwe et des organisations humanitaires, et soutiendront les systèmes agroalimentaires durables et résilients au climat grâce à des interventions nuancées dans les domaines de l'agriculture, de la sécurité alimentaire et nutritionnelle, et de l'approvisionnement alimentaire.



## Contacts

Sabine Homann-Kee Tui (ICRISAT, CGIAR, Malawi), s.homann@cgiar.org

Caroline Hambloch (ICRISAT, CGIAR, Malawi), c.hambloch@cgiar.org

Roberto Valdivia (Département d'économie appliquée, Université d'État de l'Oregon, USA), roberto.valdivia@oregonstate.edu

## Plus d'informations

(1) Hambloch C., Homann-Kee Tui S., Ojewa C.O., 2020. Stronger local food value chains can leave eastern and southern Africa more resilient post COVID-19. www.preventionweb.net/news/view/71602

(2) Homann-Kee Tui S., Masikati P., Descheemaeker K., Siso G., Francis B., Senda T., Crespo O., Moyo E.N.,

Valdivia R., 2021. Transforming smallholder crop-livestock systems in the face of climate change: stakeholder-driven multi-model research in semi-arid Zimbabwe. In Rosenzweig C., et al. (eds.): *Handbook of climate change and agroecosystems: climate change and farming system planning in Africa and South Asia: AgMIP stakeholder-driven research* (in 2 parts) (vol. 5). World Scientific Publishing. <https://www.worldscientific.com/worldscibooks/10.1142/Q0259>

(3) Homann-Kee Tui S., Valdivia R.O., Descheemaeker K., Senda T., Masikati P., Makumbe M.T., Van Rooyen A., 2020. Crop-livestock integration to enhance ecosystem services in sustainable food systems. In Rusinamhodzi L. (ed.): *The role of ecosystem services in sustainable food systems*. Elsevier, chapter 8: 141-163.

(4) Valdivia R., Antle J., Homann-Kee Tui S., Mutter C., Evengard A., Ruane A., Witkowski K., 2019. *Enhancing agricultural production and food security amid a changing*

*climate: a new approach to inform decision-making. The Inter-American Institute for cooperation on agriculture-climate change, natural resources and management of production risks and the agricultural model intercomparison and improvement project. A policy brief presented at the Joint Inter-American Agricultural Ministers Exchange. Pre-COP 25, San José.*

## Remerciements

Ce travail a été réalisé avec le soutien financier du Department for International Development and Foreign, Commonwealth and Development Office du gouvernement britannique, du Centre de recherches pour le développement international, Ottawa, Canada, et du programme de recherche CCAFS de CGIAR. Les contributions des collaborateurs du projet, M. Madajewicz et C. Mutter, ont été également appréciées. Les opinions exprimées dans ce document sont celles des auteurs et ne représentent pas nécessairement celles des organisations.

## Prospective de l'agroécologie en Inde à l'horizon 2050

L'étude AgroEco2050 (2019-2021) élabore et explore deux scénarios contrastés d'avenir de l'agriculture, de l'alimentation et du bien-être en Andhra Pradesh, un État du sud de l'Inde : la poursuite de l'agriculture industrielle conventionnelle, ou bien une transition agroécologique à grande échelle. L'étude vise également à contribuer aux recherches et débats, nationaux et internationaux, sur l'agroécologie et l'avenir de l'alimentation et de l'agriculture. Depuis 2016, le gouvernement d'Andhra Pradesh (GoAP) s'est engagé à développer une « agriculture naturelle » (« *Natural farming* ») résiliente au changement climatique et gérée par les communautés — une approche fondée sur les principes de « l'agriculture régénérative ». Cette agriculture naturelle fait partie de la science, du mouvement et de la pratique de l'agroécologie, en mettant particulièrement l'accent sur la santé des sols et la régénération des paysages, une forte diversité d'espèces végétales et animales en synergie, le non-usage de pesticides et engrais de synthèse, des groupes autonomes d'entraide

souvent féminins (« SHG »), des formations et apprentissages par et pour les agriculteurs. En avril 2020, l'agriculture naturelle était déjà pratiquée par près de 700 000 agriculteurs en Andhra Pradesh, avec l'espoir d'atteindre 6 millions en 2027 sur 8 millions d'hectares. Cette transition agroécologique en cours a attiré l'attention d'autres États indiens, du gouvernement central, d'institutions nationales et internationales<sup>(1)</sup>. Dans un tel contexte, il est apparu important d'explorer les conditions et implications d'une telle transformation, suivant une démarche scientifique et un processus multipartite.

L'étude prospective AgroEco2050 entend ainsi explorer les multiples impacts (utilisation des terres, revenus des agriculteurs, productivité de la terre, emploi et PIB de l'État, nutrition des ménages, finances publiques, etc.) que pourrait avoir une conversion complète de l'Andhra Pradesh à l'agroécologie d'ici 2050, comparé aux impacts d'un scénario d'intensification de l'agriculture et de l'alimentation industrielles. La

méthodologie reprend celle de la prospective mondiale Cirad-INRAE « Agrimonde : scénario et défis pour nourrir le monde en 2050 » (2006-2010). Elle mobilise l'expertise collective et l'outil/modèle quantitatif Agribiom<sup>(2)</sup>, avec un gros travail préalable par l'équipe de recherche de collecte de données et de modélisation depuis les années 1970 (populations humaines et animales, PIB, utilisation des terres, productivité des terres et du travail, régimes alimentaires, etc.). Une interface interactive est également construite pour visualiser et discuter des évolutions passées et des scénarios futurs avec un groupe d'experts de différents horizons (scientifiques, décideurs politiques, société civile, agriculteurs...) lors d'ateliers en 2020 et 2021. **L'étude, co-élaborée avec les responsables politiques d'Andhra Pradesh, devrait permettre d'éclairer sur des bases scientifiques les politiques à venir de cet État. Ses conclusions devraient également être d'un grand intérêt pour d'autres États, en Inde comme dans le reste du monde.**



### Contact

Bruno Dorin (Cired, Cirad, France), [bruno.dorin@cirad.fr](mailto:bruno.dorin@cirad.fr)

### Plus d'informations

(1) Dorin B., 2021. Theory, Practice and Challenges of Agroecology in India, *International Journal of Agricultural Sustainability*. doi: 10.1080/14735903.2021.1920760

(2) Dorin B., Joly P.-B., 2020. Modelling world agriculture as a learning machine? From mainstream models to Agribiom 1.0. *Land Use Policy*, 96(July). doi: 10.1016/j.landusepol.2018.09.028



# Chapitre 5

## Construire un nouveau système alimentaire mondial fondé sur l'équité, la participation, la démocratie et la justice

Ce chapitre aborde un enjeu essentiel de la transition agroécologique qui fait d'elle bien plus qu'un simple ensemble de pratiques et de techniques agricoles innovantes. La transition agroécologique donne naissance à des modes alternatifs de gestion de la production agricole (comme cela est illustré dans les trois premiers chapitres de ce dossier), mais elle va bien au-delà en intégrant aussi les aspects d'équité, de démocratie et de justice au niveau des systèmes alimentaires, de la ferme à la table. Au-delà des aspects développés et illustrés dans le chapitre 4 (cf. page 80), l'accent est mis ici sur les transformations profondes des chaînes de valeur, des modèles commerciaux et des sources de financement. Ce chapitre s'intéresse également aux dynamiques socio-économiques territoriales qui résultent d'approches agroécologiques mises en œuvre dans un éventail varié de situations et avec une diversité d'acteurs des systèmes alimentaires. Ces transformations se traduisent par des changements dans les interactions entre acteurs des systèmes agricoles et alimentaires propices à les rendre plus respectueux de l'environnement et plus équitables, pour le bénéfice non seulement des producteurs mais aussi des consommateurs.

Ce chapitre s'intéresse au **niveau 5 de Gliessman** qu'il décrit dans les termes suivants : « En s'inscrivant au-delà des niveaux 1 à 4, le niveau 5 implique un changement dont la portée est globale, au-delà des systèmes alimentaires eux-mêmes, pour toucher à la culture, à la civilisation, au progrès et au développement. Le changement va au-delà de la simple conversion ou transition, et s'apparente à une réforme ou à une transformation complète. En s'inscrivant dans un cadre de penser et d'agir de niveau 5, l'agroécologie permet de s'appuyer sur des processus de changement dépassant le niveau de l'exploitation et des dynamiques de changements portées par les agriculteurs pour repenser entièrement la manière dont nous sommes tous liés les uns aux autres et à la Terre elle-même, dont nous dépendons. Les systèmes de croyances, les valeurs mais aussi les considérations éthiques changent. La prise de conscience,

qui fait partie de ce processus, s'étend à d'autres facettes des relations environnementales et sociales au-delà de l'alimentation, entraînant un changement de paradigme sur la manière dont les systèmes agricoles et alimentaires du futur contribueront à réduire notre empreinte écologique, à reconnaître que la croissance a ses limites et à définir ce que signifie réellement 'vivre durablement'. Le rôle important que les systèmes alimentaires peuvent et doivent jouer dans l'atténuation et l'adaptation au changement climatique en tant qu'enjeu mondial est un exemple de la valeur de la réflexion de ce niveau 5. Le mouvement croissant pour la justice alimentaire, afin que tous les acteurs du système alimentaire puissent apprécier et profiter des bénéfices de l'équité, de la justice, de la sécurité et de la durabilité, en est un autre. » Il conclut ensuite par **« Construire un nouveau système alimentaire mondial, fondé sur l'équité, la participation, la démocratie et la justice, serait non seulement durable mais aiderait aussi à restaurer et à protéger les systèmes qui soutiennent la vie sur Terre et dont nous dépendons tous ».**

Bien sûr, cela ne va pas de soi ; c'est particulièrement exigeant pour ceux qui s'engagent dans cette voie. Pour la communauté scientifique, cela implique une révision de l'agenda de recherche afin d'adopter une vision systémique de l'agriculture, de concevoir la circularité des systèmes agricoles et alimentaires, de s'interroger sur l'équité sociale dans les exploitations agricoles, les territoires, les chaînes de valeur, les politiques et les institutions en lien avec les systèmes alimentaires. Réviser l'agenda de recherche va de pair avec prendre conscience que la disponibilité et l'accès à une alimentation saine et nutritive résultent des dynamiques économiques et politiques au sein des systèmes alimentaires. Toute recherche visant à soutenir les transitions agroécologiques à grande échelle doit inclure trois axes stratégiques : le développement de théories du changement fondées sur une approche systémique renforcée, la recherche des processus générant les meilleurs chemins

▼ *Plantation de manioc sur l'île de Buvuma, Ouganda.*

© HansVellema/TBI



de l'impact pour les partenaires du développement, et l'implication dans un dialogue ouvert sur les questions fondamentales liées aux modèles, aux stratégies et au financement du développement agricole et des systèmes alimentaires.

Les contributions de ce chapitre illustrent les recherches concourant à l'élaboration d'un nouveau système alimentaire mondial à partir d'exemples tirés de situations réelles. Ces contributions sont organisées en trois parties : (i) **améliorer les chaînes de valeur par l'agroécologie**, ou comment des pratiques agroécologiques créent et donnent de la valeur aux produits agricoles au-delà de leur simple qualification de marchandise ; (ii) **agir collectivement, créer des connaissances, lier produits et territoires** ; cette partie illustre que l'un des enjeux remis à l'ordre du jour par l'agroécologie est celui des collectifs. Le futur se construit à plusieurs en valorisant la diversité et la complémentarité des situations agricoles comme des savoirs, et pas seulement par l'agrégation de l'efficacité technico-économique de chacun. Il s'agit en effet de rassembler la diversité des acteurs œuvrant dans ces contextes agricoles autour d'un objectif commun ; et enfin (iii) les **modèles commerciaux et les financements innovants** ; cette partie s'intéresse aux moyens qui doivent être mis en œuvre pour favoriser cette transformation à travers des modalités innovantes de financement.

Dans la première partie, **améliorer les chaînes de valeur par l'agroécologie**, les trois premières contributions illustrent comment une révision des modalités habituelles de commercialisation redonne du sens et de la valeur aux produits, et, en particulier, concourent à la reconnaissance du rôle essentiel des femmes dans ces processus à travers les exemples de la production d'huile de palme (Ihalainen *et al.*), de café (Gallagher *et al.*) et de beurre de karité (Wardell *et al.*). Dans la contribution suivante, Hugo de Vries montre comment, à l'aide de technologies innovantes, des sous-produits peuvent être transformés en coproduits, créant ainsi de la diversité en situations de monoculture. Hostiou *et al.* argumentent en quoi le travail en agriculture doit être pris en compte dans ses différentes dimensions afin de mettre en évidence les valeurs que celui-ci contribue à apporter au système de production et, en retour, aux produits qui en sont issus, et dont la valeur ne repose pas exclusivement sur leur qualité intrinsèque mais aussi sur tous les facteurs qui contribuent à leur production.

La deuxième partie, **agir collectivement, créer des connaissances, lier produits et territoires**, regroupe des contributions qui illustrent la dimension collective de la transformation agroécologique. C'est en effet

par l'action collective que les valeurs introduites dans les contributions de la partie précédente peuvent faire l'objet de reconnaissances formelles. Ces dynamiques collectives peuvent alors faire émerger des qualités propres à ces biens communs et déboucher sur diverses appellations telles que le commerce équitable comme le souligne Thierry Winkel, ou des certifications d'origine comme les systèmes participatifs de garantie (SPG) idécris par Nadia Bergamini, à travers des initiatives originales à Cuba, et par Estelle Biénabe et Claire Cerdan avec des exemples concrets dans trois continents. Allison Loconto souligne que les SPG existent désormais dans 76 pays du Sud mais qui ne disposent pas des moyens de certification et de contrôle des pays du Nord pour labelliser les pratiques d'agriculture biologique.

Si ces formes d'actions collectives peuvent avoir lieu, c'est bien parce que dans de tels espaces organisés et au sein de ces collectifs se produisent les indispensables processus d'apprentissage et d'échanges de savoirs, non seulement entre pairs mais aussi entre parties prenantes de ces territoires, comme l'illustrent les contributions de François Affholder et d'Aurélien Toillier. Les deux contributions suivantes, de Marc Piraux et de Carmen Gervet *et al.*, illustrent l'importance des relations au sein de collectifs organisés autour de la gestion de biens communs dans leur espace d'action : le territoire. Enfin, la dernière contribution d'Éric Sabourin et Jean-François Le Coq, plaide en faveur de politiques publiques territorialisées soutenant le développement de l'agroécologie.

Quatre textes contribuent à la recherche sur les **modèles commerciaux et financements innovants** : celle de Nelson et Sander montre que les systèmes rizicoles agroécologiques sont vertueux du point de vue des émissions de carbone et pourraient être mieux reconnus et bénéficier du marché des crédits carbone. Stoian *et al.* s'interrogent sur l'intérêt des formes inclusives de modèles commerciaux pour les petits planteurs de palmiers à huile, de cacao et de café, afin de leur permettre de mieux profiter de l'allocation de la valeur ajoutée dans les filières industrialisées. Les deux articles suivants, de Mockshell *et al.* et de Louman *et al.*, plaident pour une meilleure contribution du secteur privé en soutien aux systèmes de production agroécologiques dont les performances multidimensionnelles bénéficient à l'ensemble du système alimentaire.

**Bernard Hubert** (Agropolis International, INRAE)  
**Marcela Quintero** (Alliance of Bioversity International  
and CIAT, CGIAR)  
**Michael Hauser** (ICRISAT, CGIAR)



# Améliorer les chaînes de valeur par l'agroécologie

## Vers une production d'huile de palme durable

### Empreinte sociale des chaînes de valeur des marchés informels et formels

Le Ghana est un important producteur et consommateur d'huile de palme, sans toutefois parvenir à satisfaire la demande intérieure<sup>(1)</sup>. Malgré l'émergence de grandes plantations et de moulins industriels, les petites exploitations représentent environ 80 % des terres cultivées en palmiers à huile, et 76 % de l'huile de palme brute (CPO) sont transformés par des petits moulins artisanaux<sup>(3)</sup>. La croissance et l'expansion des plantations de palmiers à huile des petits exploitants et des concessions privées du district de Kwaebibirem, ont provoqué un boom des moulins informels exploités par les « mamans du palmier à huile », entraînant des changements d'affectation des terres en faveur du palmier à huile et au détriment d'autres cultures arborées. Au Ghana, la transformation de l'huile de palme est traditionnellement perçue comme une « activité de cuisine » réservée aux femmes qui ont toujours dominé dans les activités intermédiaires de la chaîne de valeur : acheteuses à la ferme, meunières et transformatrices artisanales, commerçantes<sup>(2)</sup>. Malgré l'importance du secteur informel du palmier à huile pour l'emploi des femmes, les moulins artisanaux sont confrontés à de sérieux défis du fait des faibles taux d'extraction, des impuretés dans l'huile, des conditions de travail dangereuses

et des impacts environnementaux négatifs liés à la consommation de bois de chauffe, aux émissions de carbone et à la pollution de l'air et de l'eau. Alors que les entreprises déclarées doivent respecter les réglementations environnementales, de travail et de santé, les entreprises informelles fonctionnent en dehors de ces normes. De plus, le secteur formel maintient une niche essentielle de la chaîne de valeur en termes de fourniture de services aux petits exploitants et de durabilité à grande échelle, mais la concurrence avec le secteur informel menace la viabilité des entreprises de taille moyenne et a ébranlé les modèles de prestation de services à grande échelle. Grâce à une analyse genrée de la chaîne de valeur, nous avons étudié les opportunités et défis de l'amélioration de la transformation de

l'huile de palme et de l'emploi décent à différentes étapes de la chaîne, fournissant ainsi un regard sur la participation et les bénéfices des femmes et des hommes au sein de différents maillons de la chaîne de valeur. Nous avons également développé et exploré des méthodologies participatives innovantes pour mesurer et cartographier visuellement l'empreinte du genre en termes d'impacts sur les moyens de subsistance des hommes et des femmes dans les chaînes de valeur informelles et formelles du palmier à huile. **Nos résultats alimenteront un processus continu de développement intégré des paysages dans le but de façonner une gouvernance du paysage et un développement de la chaîne de valeur qui soient plus inclusifs et sensibles au genre.**

#### Contacts

Markus Ihalainen (CIFOR, CGIAR, Sénégal),  
m.ihalainen@cgiar.org

Emily Jeanne Gallagher (CIFOR, CGIAR, Kenya),  
e.gallagher@cgiar.org

#### Autre auteur

George Schoneveld (CIFOR, CGIAR, Kenya)

#### Plus d'informations

(1) Rhebergen T., Fairhurst T., Whitbread A., Giller K.E., Zingore S., 2018. Yield gap analysis and entry points for improving productivity on large oil palm plantations and smallholder farms in Ghana. *Agricultural Systems*, 165: 14-25.

(2) Sarku R., 2016. Analyses of gender roles in the oil palm industry in Kwaebibirem District, Ghana. *International Journal of Humanities and Social Sciences*, 6(3): 187-198.

(3) MoFA, 2010. MASDAR: master plan study on the oil palm industry in Ghana. <https://mofa.gov.gh/site/images/pdf/GHANA%27S%20OIL%20PALM%20MASTER%20PLAN.pdf>

▼ « Kramer » ou usine artisanale de palmiers à huile dans la région Orientale du Ghana. © A. Gonzalez/CIFOR



# Caractériser les chemins de l'impact du café Fairtrade sur les relations entre genre

## Études de cas au Guatemala, en Indonésie et au Kenya



▲ Entretien avec des productrices de café en Indonésie. © CIFOR

Cette recherche analyse la contribution de Fairtrade au développement d'une chaîne de valeur sensible au genre par des interventions visant à améliorer la participation des femmes, leur autonomisation sociale et économique, et la transformation des normes genrées qui reproduisent les inégalités entre producteurs et productrices. Des spécialistes du genre\* ont utilisé l'approche de « l'analyse des contributions » afin d'examiner systématiquement les impacts de la « Théorie du changement » de Fairtrade sur les réalisations, résultats et impacts genrés. Cette étude examine comment Fairtrade - à travers ses standards, stratégies, programmes et activités de renforcement des capacités - contribue à des changements dans les relations de genre, et si Fairtrade produit des bénéfices supplémentaires aux agriculteurs, travailleurs et communautés en matière de non-discrimination et d'autonomisation des femmes et des filles.

Les principaux résultats montrent que les standards et les programmes sur le genre de Fairtrade améliorent la proportion et la représentation des femmes aux postes de dirigeant par une discrimination positive, par la création de comités de femmes et par des interventions sexospécifiques pour lutter contre les obstacles structurels à leur participation (absence de régime foncier sécurisé, faible accès à des services de garde d'enfants, charge du travail ménager). Le programme « Growing Women in Coffee » au Kenya a pris des mesures contre les obstacles à l'adhésion des femmes aux coopératives en faisant pression sur les hommes pour qu'ils transfèrent des cafédiers au nom de leurs épouses, et en y inscrivant les femmes comme membres à part entière avec les avantages associés. Les indicateurs d'autonomisation, permettant de mesurer l'étroite relation entre autonomisation sociale et économique, ont montré l'impact positif de la sensibilisation aux questions de genre, couplée à des mesures pour accroître la participation des femmes aux marchés et leur accès aux fonds de roulement. Au Guatemala, la Women's Leadership School a défini des normes pour renforcer les compétences agronomiques et entrepreneuriales des femmes ainsi que leur sentiment d'autonomie et, avec le soutien d'alliés masculins, défendre leur leadership au sein des organisations de producteurs. Des recommandations visant à mieux ancrer les normes socioculturelles sur le genre mettent Fairtrade au défi d'identifier des leviers d'action dans le cadre de son modèle commercial ; elles fournissent également des orientations plus spécifiques du positionnement de Fairtrade sur le travail occasionnel et le travail des femmes qui participent activement à la production sans être membres à part entière. Par exemple, les femmes qui se forment au leadership en Indonésie, doivent encore naviguer entre les normes socioculturelles

concernant la participation des femmes à la sphère publique et l'invisibilisation du travail des femmes dans les chaînes de valeur, et ce afin de contribuer pleinement aux prises de décision et aux activités commerciales des coopératives. **Ces études de cas montrent les progrès réalisés au niveau des réseaux régionaux de producteurs Fairtrade et des organisations de petits producteurs, ainsi que les innovations locales visant à lutter contre les normes sexospécifiques profondément ancrées qui empêchent la pleine participation des femmes.**

\* Spécialistes des questions de genre du CIFOR, mandatés par les partenaires du système Fairtrade, avec le soutien du programme de recherche du CGIAR sur les forêts, les arbres et l'agroforesterie (CRP-FTA).

### Contacts

Emily J. Gallagher (CIFOR, CGIAR, Kenya),  
e.gallagher@cgiar.org

Iliana Monterroso (CIFOR, CGIAR, Guatemala),  
i.monterroso@cgiar.org

Made Sanjaya (CIFOR, CGIAR, Indonésie),  
made.sanjaya@outlook.com

### Plus d'informations

• Gallagher E.J., Monterroso I., Sanjaya M., 2020. *Women's access, equity and empowerment: Progress and uptake of the Fairtrade Gender Strategy 2016-2020*. Fairtrade International, Bonn.

• [www.fairtrade.net/news/new-fairtrade-study-highlightssuccesses-and-ways-forward-towards-gender-equality](http://www.fairtrade.net/news/new-fairtrade-study-highlightssuccesses-and-ways-forward-towards-gender-equality)

• Fairtrade Foundation, 2015. *Equal harvest: removing the barriers to women's participation in smallholder agriculture*. Fairtrade Foundation, London, 50 p.

• Malapit H., Quisumbing A., Meinzen-Dick R., Seymour G., Martinez E.M., Heckert J., Phase, G.A.A.P. (2019). Development of the project-level Women's Empowerment in Agriculture Index (pro-WEAI). *World development*. 122: 675-692.

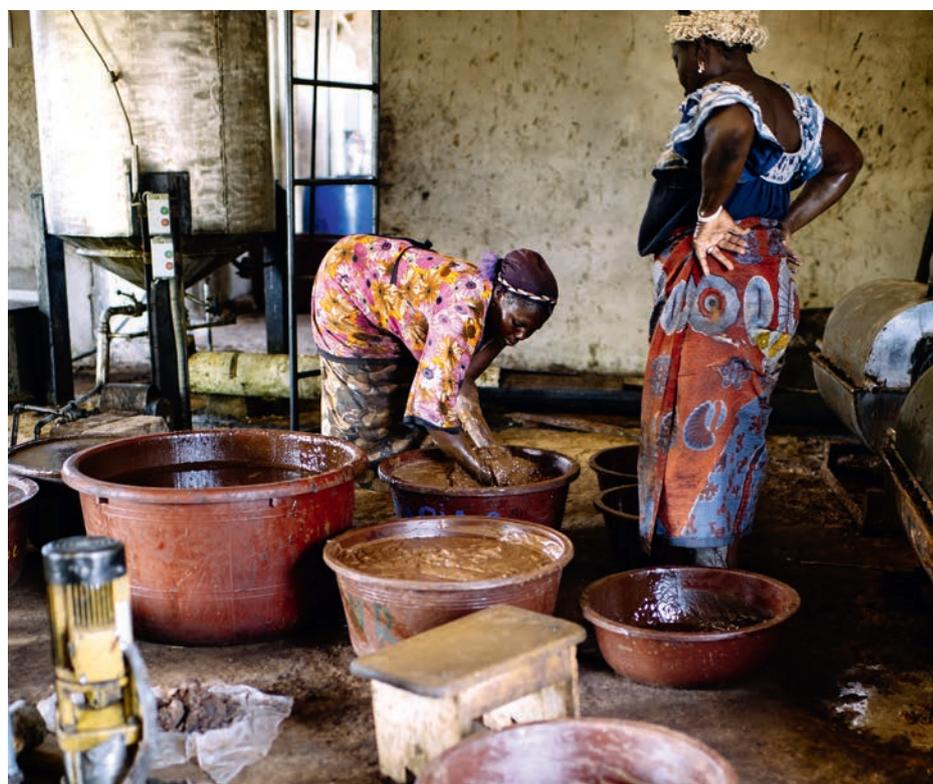
## Continuité et changement dans la gouvernance de la filière karité au Burkina Faso (1890-2019)

Les fruits, noix et beurre de karité sont des produits forestiers non ligneux issus du karité (*Vitellaria paradoxa*), l'espèce d'arbre la plus répandue dans les parcs d'Afrique de l'Ouest. Les fruits et le beurre extrait des noix sont des ingrédients essentiels de l'alimentation des communautés rurales. La vente des surplus de noix et de beurre génère des revenus essentiels pour les femmes<sup>(1,2)</sup>. Les parcs fournissent également d'autres aliments de subsistance ainsi que des services écosystémiques essentiels. Des données historiques révèlent un échange séculaire et généralisé des noix et du beurre de karité par les femmes dans les marchés locaux périodiques et, au niveau régional, dans les marchés approvisionnant les communautés le long du littoral densément peuplé ouest-africain<sup>(4)</sup>.

souv.

### ► Traitement des noix de karité.

Rabo Nafissatou (à gauche) et Bassia Mariam (à droite) broient des noix de karité une fois grillées, pour en faire une pâte, qui est ensuite mélangée à de l'eau puis battue (Burkina Faso). © O. Girard/CIFOR



Ces échanges se faisaient non seulement entre zones de production et zones non productives, mais aussi à l'intérieur des zones de production du fait des variations saisonnières de l'offre. Au début du 20<sup>e</sup> siècle, les administrations coloniales françaises (et britanniques) ont envisagé la possibilité d'exporter les noix de karité en Europe à grande échelle. Les multiples initiatives visant à taxer, extraire (mécaniquement et chimiquement) et planter du karité, n'ont cependant pas abouti. Après l'indépendance, les États se sont efforcés de réglementer et de contrôler le commerce du karité par des fonds de stabilisation et des organismes parapublics chargés de la commercialisation ; ces efforts ont été abandonnés après 1984, lorsque les marchés du karité ont été libéralisés. Depuis 2003, une chaîne d'approvisionnement mondiale oligopolistique, dominée par trois entreprises étrangères qui fabriquent des équivalents au beurre de cacao, doit se procurer du karité pour répondre à la demande croissante des industries de la confiserie et du cosmétique qui présentent plusieurs

milliards de dollars<sup>(3)</sup>. Le Burkina Faso en est l'un des principaux exportateurs. La première « Stratégie nationale de développement durable de la filière karité du Burkina Faso 2015-2019 » a été adoptée par le gouvernement afin de développer le commerce des noix de karité dans le cadre de son portefeuille des « principaux produits agricoles d'exportation non traditionnels ». Cette démarche s'inscrit dans le cadre de l'orthodoxie néolibérale (désormais) dominante, qui privilégie les droits privés aux droits publics, et les systèmes de production monétisés. Nous pensons que **la continuité historique, la résilience et la souveraineté de la production et du commerce du karité par les femmes, sont dorénavant confrontées à plusieurs risques de désagrégation associés aux forces contemporaines de la mondialisation.**

**Contact**

David Andrew Wardell (CIFOR, CGIAR, France), a.wardell@cgiar.org

**Autres auteurs**

Marlene Elias (Alliance of Bioversity International and CIAT, CGIAR, Italie)  
Mathurin Zida (CIFOR, CGIAR, Burkina Faso)

**Plus d'informations**

(1) Rousseau K., Gautier D., Wardell D.A., 2017. Socio-economic differentiation and shea globalization in western Burkina Faso: integrating gender politics and agrarian change. *The Journal of Peasant Studies*, 46(4): 747-766. <http://dx.doi.org/10.1080/03066150.2017.1401612>  
(2) Elias M., 2015. Gender, knowledge-sharing and management of shea (*Vitellaria paradoxa*) parklands in central-west Burkina Faso. *Journal of Rural Studies*, 38: 27-38. [www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0743016715000157?via%3Dihub](http://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0743016715000157?via%3Dihub)  
(3) Rousseau J., Gautier D., Wardell D.A., 2015. Coping with the upheavals of globalization in the value chain of shea: the maintenance and relevance of upstream shea nut supply chain organization in western Burkina Faso. *World Development*, 66: 413-427. <http://dx.doi.org/10.1016/j.worlddev.2014.09.004>  
(4) Wardell D.A., Fold N., 2013. Globalizations in a nutshell: historical perspectives on the changing governance of the shea commodity chain in northern Ghana. *International Journal of the Commons*, 7(2): 367-405. [www.thecommonsjournal.org/articles/10.18352/ijc.361/](http://www.thecommonsjournal.org/articles/10.18352/ijc.361/)

## Convergence des principes agroécologiques et bioéconomiques pour de nouvelles voies de transformation

Les pratiques agroécologiques combinent les trois dimensions de la durabilité, à savoir la performance économique, environnementale et sociale. Ces pratiques favorisent la biodiversité, la réduction des intrants et l'utilisation efficiente des ressources, tout en reconsidérant la production d'un point de vue écologique. Le concept de bio-économie a tout d'abord intéressé les biotechnologies, puis l'utilisation efficiente des ressources ; ce concept s'articule aujourd'hui autour d'orientations socio-écologiques parmi lesquelles les systèmes agroalimentaires occupent une place importante. Agroécologie et bio-économie ont convergé vers un unique cadre de durabilité qui fixe les étapes de production, fabrication, distribution, consommation et recyclage, questionnant ainsi les filières de transformation des agroressources :

1. Comment passer d'un traitement à haut rendement et à grand volume des monocultures à un traitement de ressources biodiversifiées ?
2. Comment transformer intégralement les produits principaux et les sous-produits afin d'améliorer l'utilisation efficiente des ressources ?
3. Comment concevoir les étapes ultérieures du recyclage afin de garantir une perte minimale de nutriments ?

4. Comment les trois voies de transformation ci-dessus peuvent-elles être innovantes durablement, et ce dans les trois dimensions de la durabilité ?

Un rapport de réflexion prospective sur la bioéconomie<sup>(1)</sup> a fait des propositions : technologies alimentaires à échelle réduite, processus en cascade pour ressources multiples, approches en cycle fermé pour la biomasse, innovations technologiques, organisationnelles et sociales combinées<sup>(2)</sup>. Ces questions pourraient ainsi être abordées en considérant que des systèmes bioéconomiques globaux et durables devraient être construits sur la base de sous-systèmes bioéconomiques territoriaux interconnectés plutôt que de systèmes bioéconomiques linéaires, y compris pour les chaînes de valeur alimentaires<sup>(3)</sup>. Dans les sous-systèmes, les acteurs, produits, transformations, contexte (géographique), règles et résultats (non) durables, devraient être considérés conjointement afin de vérifier si les principes agroécologiques et bioéconomiques ont été respectés. Cette vérification peut se faire expérimentalement dans des « laboratoires vivants ». Ces derniers - explorés actuellement en agroécologie - peuvent devenir des « laboratoires de systèmes bioéconomiques »

pour évaluer des cas avec un large éventail de partenaires publics et privés. En outre, les objectifs de pôles existants de recherche et d'innovation en bioéconomie (y compris pour les systèmes alimentaires), pourraient être élargis afin d'y inclure les pratiques de production agroécologiques. La station de recherche INRAE sur le vin - Pech Rouge - pourrait servir d'exemple en combinant la production agroécologique de vin et l'utilisation de coproduits et de déchets, via les trois voies de transformation susmentionnées : transformation des ressources biodiversifiées, transformation intégrale, recyclage multiple. En outre, cette station de recherche pourrait s'intéresser à des innovations technologiques respectueuses de l'environnement ainsi qu'à des innovations organisationnelles et sociales, afin de trouver des solutions qui soient durables et ce dans les trois dimensions.

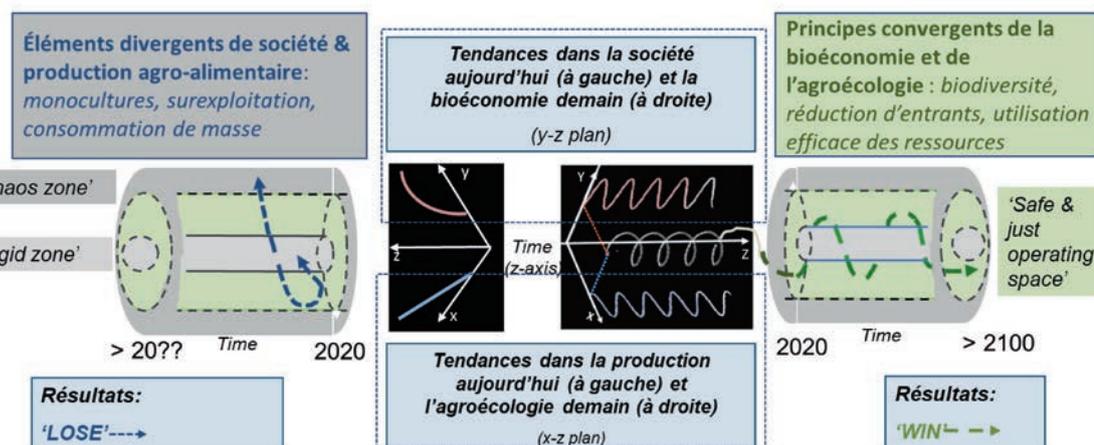
**Contact**

Hugo de Vries (late, INRAE, France), hugo.de-vries@inrae.fr

**Plus d'informations**

(1) Axelos M. et al., 2020. *Réflexion prospective interdisciplinaire bioéconomie*. Rapport de synthèse. INRAE, France. (hal-02866076)  
(2) Donner M., de Vries H., 2021. How to innovate business models for a circular bio-economy? *Business Strategy and the Environment*. doi: 10.1002/bse.2725  
(3) De Vries, H., Donner M., Axelos M., 2021. A new conceptual cylinder framework for sustainable bioeconomy systems and their actors. *J Agric. Environ. Ethics*, 34: 11. <https://doi.org/10.1007/s10806-021-09850-7>

Transformations agroécologiques pour des systèmes alimentaires durables



▲ Les caractéristiques convergentes de l'agroécologie et de la bioéconomie permettent d'obtenir des résultats durables dans des espaces d'exploitation sûrs et justes, contrairement aux modèles sociétaux et de production actuels qui conduisent au chaos ou à la rigidité. Image modifiée de [www.radartutorial.eu/06.antennas/pic/zirkulanim.gif](http://www.radartutorial.eu/06.antennas/pic/zirkulanim.gif) est incluse. Adapté De Vries et al. (2021)

La transition agroécologique est un changement du travail des agriculteurs, avec plus de diversité à gérer (par exemple cultures et élevage), plus d'incertitudes (les processus naturels ne sont pas faciles à prédire) et qui demandent de nouvelles compétences et savoir-faire. L'agroécologie est, par hypothèse, présentée comme offrant de meilleurs conditions de travail, mais avec plus de travail et de charge mentale. Le changement vers l'agroécologie est un changement de monde professionnel, lequel met en relation des normes, des valeurs, des pratiques et des objectifs (par exemple l'autonomie). Le changement ne porte pas que sur les pratiques ! Il nécessite de la créativité, du dialogue avec les pairs, des apprentissages. Le processus réconcilie pas à pas l'idéal et le possible

(projet Praiface, 2008-2013, élevages de ruminants, Ouest de la France).

Les temps de travaux dépendent de nombreux facteurs et en premier lieu la dimension (surface, troupeau) et la composition de la main-d'œuvre. Conclure sur un effet direct des pratiques agroécologiques, avec des méthodes précises comme Quaework, est difficile. La charge mentale demeure également difficile à apprécier (hors mesure biologique du stress). Le sentiment de pénibilité conserve une dimension individuelle et subjective forte. La complexité n'est pas perçue comme une difficulté. Le travail n'est pas qu'impacté par le changement : il y a, à l'échelle de chaque ferme, une renégociation qui s'opère entre les tâches à faire,

les personnes pour le faire, les équipements et la place des activités non agricoles (projet Lift 2020-2023, grandes cultures et élevages de ruminants, 12 pays européens). **L'agroécologie renforce le sens donné au travail, le sentiment d'utilité, la richesse des relations (avec les autres, les animaux), l'autonomie décisionnelle, la cohérence et la relation sensible avec la nature. Les observations convergent pour souligner que la transition agroécologique est vécue comme une émancipation et qu'elle favorise le sentiment d'un travail enrichissant** (projet Transae, 2016-2019, élevage de ruminants, France).



▲ Travail collectif dans une parcelle de cultures maraîchères impliquant des membres de l'association et du personnel technique. © R. Fèche

### Contacts

Nathalie Hostiou (Territoires, INRAE, France),  
nathalie.hostiou@inrae.fr

Julie Duval (Territoires, INRAE, France),  
julie.duval@inrae.fr

Xavier Coquil (Territoires, INRAE, France),  
xavier.coquil@inrae.fr

### Autres auteurs

Benoît Dedieu (département ACT, INRAE, France)

Jean-Yves Paillex (Territoires, INRAE, France)

### Partenaires

Réseau mixte technologique « travail en agriculture » :  
<http://idele.fr/fr/reseaux-et-partenariats/reseaux-mixtes-technologiques/rmt-travail-en-agriculture.html>

Association internationale « Work in Agriculture » :  
[www.workinagriculture.com](http://www.workinagriculture.com)

### Projets

• Projet Lift, Low-input farming and territories. Integrating knowledge for improving ecosystem-based farming (projet H2020 n°770747, coordination INRAE).

• Projet Praiface, Faciliter les transitions vers des systèmes plus autonomes, (Casdar, France, coordination INRAE-FNCIVAM).

• Projet Transae, Transition vers l'agroécologie (Casdar, France, coordination INRAE-FNCIVAM).

### Plus d'informations

• Coquil X., Dedieu B., Beguin P. 2017. Professional transitions toward sustainable farming systems. The development of farmers' professional worlds. *Work*, 57(3): 325-337. doi: 10.3233/WOR-172565

• Hostiou N., Dedieu B., 2011. A method for assessing work productivity and flexibility in livestock farms. *Animal*, 6(5): 852-862. doi:10.1017/S1751731111002084

• Duval J., Cournut S., Hostiou N., 2021. Livestock farmers' working conditions in agroecological farming systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 41(22). <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00679-y>



## La panarchie : un cadre conceptuel pour promouvoir la durabilité inclusive des agrosystèmes paysans

La commercialisation juste et durable des produits de l'agriculture paysanne reste problématique. Outre les difficultés inhérentes à toute activité agricole, les paysans sont confrontés à un faible pouvoir de négociation dans les chaînes de valeur et à des obstacles techniques pour transformer et distribuer leurs produits. Pourtant, de plus en plus de consommateurs valorisent la qualité de ces produits, sans parler de leurs avantages environnementaux et sociaux. Rendre les chaînes de valeur plus inclusives pour l'agriculture paysanne, tout en garantissant durabilité et équité, représente donc un défi complexe qui mobilise divers acteurs – producteurs, experts, décideurs – traitant une diversité de notions et d'informations sur l'environnement et la société, opérant à plusieurs échelles de temps et d'espace, avec divers objectifs de croissance, de réduction ou de stabilité.

En hiérarchisant ces savoirs et informations hétérogènes, la science de la durabilité permet d'analyser les vulnérabilités et les perspectives de changement de systèmes complexes. Parmi ses outils, la panarchie<sup>(1)</sup> propose une approche heuristique qui articule les systèmes en jeu (familles, territoires, sociétés), avant de situer leurs trajectoires à travers quatre phases génériques d'initiation, maturation, libération et réorganisation (figure). Les interactions entre ces systèmes déterminent des scénarios de transformation plus ou moins adaptatifs et durables. **En faisant dialoguer experts et acteurs sociaux à partir de modèles graphiques, la panarchie facilite la concertation sur les enjeux, les perspectives et la prise de décision.**

Plusieurs projets de recherche-action\* ont utilisé cette approche avec succès en l'adaptant aux questions de durabilité inclusive de la production paysanne tant en circuits courts locaux que sur les marchés globalisés<sup>(2)</sup>. En Bolivie, par exemple, la transition agroécologique vers des normes rénovées de gestion territoriale a pu être concertée localement puis reconnue et intégrée par le système international de certification FairTrade/MaxHavelaar (photo). Ces résultats désignent le territoire communautaire comme un espace privilégié de débat et d'action collective pour une gouvernance durable et équitable des ressources naturelles.

\* Projet ANR-06-PADD-011-Equeco, Émergence de la quinoa dans le commerce mondial.  
 Projet Conicyt-Baquiana, Bases socio-écologiques de la gestion participative des ressources génétiques de quinoa dans les communautés d'agriculteurs familiaux.  
 Projet Anid-Pabioca, Mobiliser le patrimoine bioculturel au profit de l'agriculture paysanne.  
 Projet MSH-SUD-Panarchi, Mobiliser le patrimoine naturel et culturel pour une agriculture inclusive.  
 Projet ECOS-SUD-archipa, Patrimonialisation des ressources bioculturelles au profit de l'agriculture paysanne en Argentine et au Chili.

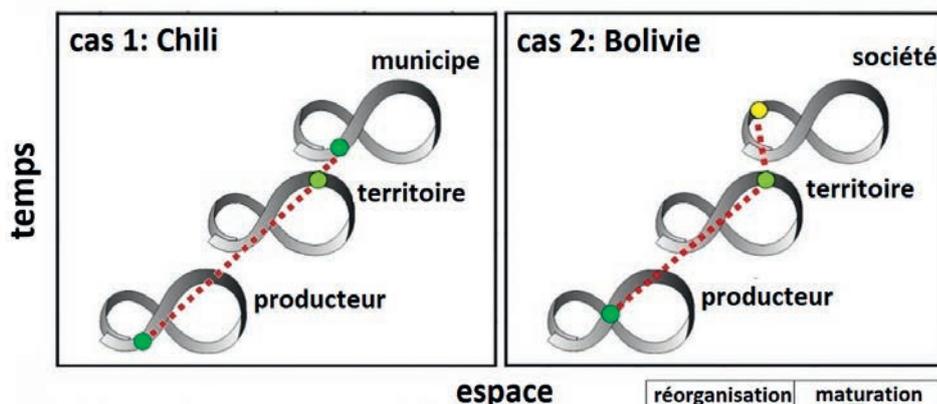
### Contact

Thierry Winkel (Cefe, IRD, France), [thierry.winkel@ird.fr](mailto:thierry.winkel@ird.fr)

### Plus d'informations

(1) Winkel T., Bommel P., Chevarría-Lazo M., Cortes G., Del Castillo C., Gasselín P., Léger F., Nina-Laura J.P., Rambal S., Tichit M., et al. 2016. Panarchy of an indigenous agroecosystem in the globalized market: the quinoa production in the Bolivian Altiplano. *Global Environmental Change*, 39: 195-204. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.007>

(2) Winkel T., Núñez-Carrasco L., Cruz P.J., Egan N., Sáez-Tonacca L., Cubillos-Celis P.E., Poblete-Oliviera C.J., Zavalla-Nanco N.O., Miño-Baes B., Viedma-Araya M.P., 2020. Mobilising common biocultural heritage for the socioeconomic inclusion of small farmers: panarchy of two case studies on quinoa in Chile and Bolivia. *Agriculture and Human Values*, 37: 433-447. <https://doi.org/10.1007/s10460-019-09996-1>



▲ Panarchies de producteurs de quinoa au Chili et en Bolivie. Dans chaque cas, trois sous-systèmes imbriqués sont hiérarchisés et leurs positions respectives dans les boucles adaptatives de Holling sont symbolisées selon l'encart de droite. © Th. Winkel/IRD, 2020



◀ En recherche participative, les jeux de rôle, en révélant la logique des différents acteurs, favorisent le débat et la concertation en vue de l'action collective. © M. Vieira-Pak/Cirad, 2007

# Les systèmes participatifs de garantie

*Un moyen bon marché et équitable pour récompenser les agriculteurs de leurs efforts à adopter l'agroécologie*

Les systèmes participatifs de garantie (SPG) constituent une alternative à la certification par une tierce partie. Peu coûteux et faciles à mettre en œuvre, ils constituent des initiatives pertinentes d'assurance qualité au niveau local qui mettent l'accent sur la participation des parties prenantes, notamment les producteurs et consommateurs ; ils sont idéaux pour les petits exploitants agricoles du monde entier. Nous avons étudié comment les SPG peuvent fonctionner dans un pays comme Cuba\*, où l'agroécologie et l'agriculture à faibles intrants ont été fortement soutenues par le gouvernement au cours des 30 dernières années. L'agroécologie est au cœur de la production agricole du pays mais, à moins d'acheter les aliments directement aux agriculteurs ou dans les marchés locaux, les consommateurs n'ont aucun moyen de savoir si les produits achetés proviennent d'exploitations intensives uniformes à haut niveau

d'intrants ou d'exploitations agroécologiques diversifiées à faible niveau d'intrants. Nous avons travaillé en collaboration avec l'Institut de recherche fondamentale en agriculture tropicale (Inifat) du ministère cubain de l'Agriculture. L'Inifat dirige également le programme « Cuba's urban, suburban and family agriculture », au sein duquel se développe la majeure partie de la production agroécologique. L'objectif était de soutenir les agriculteurs vivant et travaillant dans les zones tampons et de transition de deux réserves de la Biosphère (MAB) de l'Unesco à Cuba, en augmentant la valeur (par la certification) de leurs produits de haute qualité destinés aux marchés locaux et touristiques. Les produits agricoles des réserves MAB approvisionnent les marchés biologiques : mangues, noix de coco, avocats, goyaves, oranges douces et amères, citrons, bananes, patates douces, tomates, concombres, ananas, niébé, haricots communs et manioc. Pendant la

phase de test, six agriculteurs d'une réserve MAB ont été formés à la mise en place de SPG. Des recherches antérieures avaient montré que les agriculteurs des réserves jouent un rôle important dans la conservation de l'agrobiodiversité et des connaissances traditionnelles, tout en fournissant des services écosystémiques. Toutefois, ces informations sont perdues une fois que les produits quittent l'exploitation dans un camion de l'État, qui collecte sans distinction les produits des exploitations biologiques et conventionnelles ; tout est ensuite mélangé via le système de distribution alimentaire de l'État. **Le développement de SPG à Cuba est une tentative d'autonomisation des petits exploitants agricoles par la reconnaissance et la promotion de leurs efforts à utiliser des pratiques agroécologiques et de leur rôle de gardiens de la biodiversité, tout en offrant une garantie aux consommateurs.**

\* Dans le cadre d'un projet financé par le Pnue-FEM.

## Contact

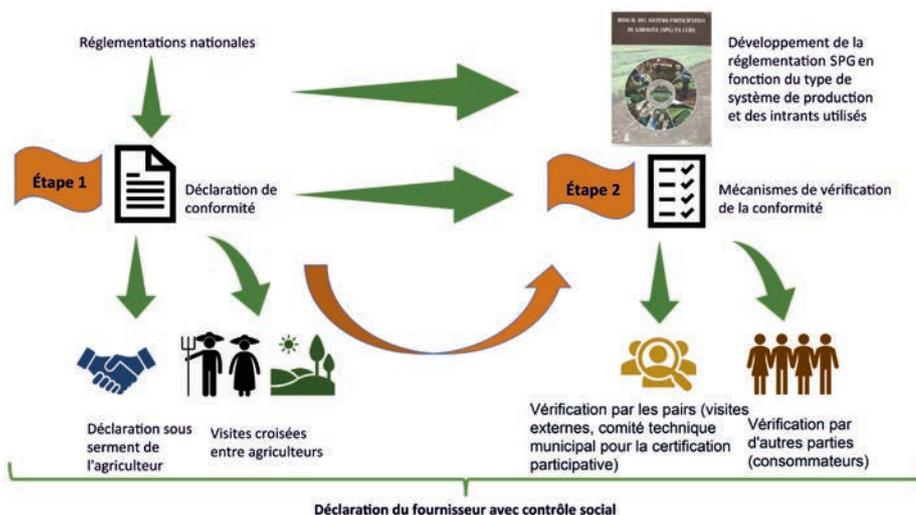
Nadia Bergamini (Alliance of Bioversity International and CIAT, Italie), n.bergamini@cgiar.org

## Plus d'informations

- Vega León M., Gavilanes Díaz P., 2016. Los sistemas participativos de garantía (SPG), una alternativa para la valorización de los productos de las Reservas de la Biosfera. *Agrotecnia de Cuba*, 40(2): 87-93.
- Pérez Lamas J., Gomez Mollón J., Vega León M., Gavilanes Díaz P., 2016. *Manual del sistema participativo de garantía (SPG) en Cuba*. Playa, Cuba: Asociación Cubana de Técnicos Agrícolas y Forestales

◀ **Le système participatif de garantie (SPG) développé à Cuba.**

*Adapté de Vega León & Gavilanes Díaz (2016)*



# Changement d'échelle des transformations agroécologiques

*Accompagner les innovations institutionnelles dans les marchés*

Les innovations marchandes qui relient producteurs agroécologiques et consommateurs des pays du Sud sont nombreuses et diversifiées. Accompagner les innovations institutionnelles qui les encadrent et produire collectivement des connaissances sont nécessaires pour changer d'échelle dans les transformations agroécologiques et agir au niveau des systèmes alimentaires<sup>(3)</sup>. Nos travaux documentent et accompagnent la manière dont les acteurs des systèmes agricoles et alimentaires repensent et organisent leurs participations dans différents marchés, soutiennent les changements agroécologiques, et modifient les règles qui structurent les interactions sur les marchés\*. Il s'agit de qualifier et faire évoluer les attributs de qualité revendiqués dans les échanges marchands et les institutions qui les garantissent (normes, certifications, accréditations). **Reconnaissance et dissémination des pratiques agroécologiques s'opèrent en effet dans l'institutionnalisation de nouvelles normes via la socialisation et promotion des liens entre qualité du produit et systèmes de production<sup>(1)</sup>.**

suiv.

▶ **Producteurs de légumes propres de Moc Chau préparant leur livraison, 2018.**

© E. Biénabe



- Les réussites de changement d'échelle combinent :
1. des expériences locales engageant des acteurs des territoires de production dans des démarches de labellisation de la qualité ou de l'origine, telles les indications géographiques (Rooibos, Afrique du Sud<sup>(2)</sup>) ou autres certifications territoriales (légumes propres de Moc Châu, Vietnam) avec un rôle central du collectif comme garant de la construction de la différence et de la qualité<sup>(3)</sup> ;
  2. des mises en réseaux entre territoires et organisations innovants via des ONG, des projets et/ou des acteurs publics, tel Agreco\*\* (Brésil) dont le changement d'échelle s'est opéré via le programme public d'appui à l'agriculture familiale et la mobilisation d'un réseau de personnes compétentes ;
  3. une montée en puissance des portages politiques au niveau national, avec une complémentarité entre recherche et ONG dans l'expérimentation et l'explicitation des mécanismes, tels que

l'établissement et la reconnaissance des systèmes participatifs de garantie (SPG) au Maroc, ou la constitution par Ecovida\*\* de circuits de transformation solidaires entre trois États du Brésil, dont la portée politique a contribué à institutionnaliser les SPG dans la loi brésilienne sur l'agriculture biologique<sup>(4)</sup>.

\*« Définissant qui a le droit de participer au marché, quels biens font partie des transactions, comment les échanges devraient se dérouler et quels sont les droits et obligations de chaque agent économique » (Niederle et Gelain, 2013)

\*\* Agreco : Association des agriculteurs agroécologiques des Encostas da Serra Geral (Brésil).  
Ecovida : réseau de groupes d'agriculteurs et d'agricultrices agroécologiques et d'ONG.

**Contacts**

Estelle Biénabe (Innovation, Cirad, Vietnam),  
estelle.bienabe@cirad.fr

Claire Cerdan (Innovation, Cirad, Réunion),  
claire.cerdan@cirad.fr

**Plus d'informations**

- (1) Biénabe E., 2013. Towards biodiverse agricultural systems: reflecting on the technological, social and institutional changes at stake In E. Hainzelin (eds): *Cultivating Biodiversity to Transform Agriculture*. Springer, Heidelberg: 221-261.
- (2) Biénabe E., Marie-Vivien D., 2017. Institutionalizing geographical indications in Southern countries: lessons learned from Basmati and Rooibos. *World Development*, 98: 58-67.
- (3) Cerdan C., Biénabe E., Benz H., Lemeilleur S., Marie-Vivien D., Vagneron I., Moustier P., 2019. What market dynamics for promoting an agroecological transition? Chapter 15. In Côte FX., et al. (eds): *The agroecological transition of agricultural systems in the Global South*. Collection Cirad-AFD Agricultures et défis du monde. Éditions Quae, Versailles: 271-291.
- (4) Lemeilleur S., Allaire G., 2018. Système participatif de garantie dans les labels du mouvement de l'agriculture biologique. Une réappropriation des communs intellectuels. *Économie Rurale*, 365: 7-27. <https://doi.org/10.4000/economierurale.5813>

## Des systèmes participatifs de garantie qui reconnectent consommateurs et producteurs

Les systèmes participatifs de garantie (SPG) sont des innovations institutionnelles de plus en plus importantes qui relient la production agroécologique à la consommation responsable. Alors que les modèles actuels dominants de garantie d'une agriculture durable attribuent la responsabilité du contrôle à des certificateurs ou à des organismes de certification tiers, les SPG « certifient les producteurs sur la base d'une participation active des parties prenantes et reposent sur la confiance, les réseaux sociaux et l'échange de connaissances »<sup>(1)</sup>. Les SPG reposent sur la démocratisation de la connaissance selon laquelle les systèmes de contrôle de la conformité aux normes sont créés par les producteurs, fonctionnaires, acteurs du secteur alimentaire, experts et consommateurs. Ensemble, ils veillent à ce que les techniques soient adoptées et que

l'audit constitue un processus d'apprentissage pour tous les acteurs impliqués<sup>(2)</sup>. Les SPG garantissent directement – par la création de marchés locaux – les aliments produits durablement. Les SPG assurent ainsi la mise à l'échelle des innovations agroécologiques car elles émergent généralement d'initiatives d'agriculteurs pour co-créer des connaissances par la voie des alliances avec leurs consommateurs dans les circuits courts.

Les SPG visent à garantir la responsabilité des acteurs de la production d'une alimentation durable. Cette méthode remonte aux expérimentations d'agriculture biologique menées aux États-Unis, en France, au Japon et au Brésil dans les années 1960. Les audits participatifs étaient l'un des premiers moyens pour contrôler les techniques d'agriculture biologique avant que le modèle de certification par tierce

partie ne devienne dominant dans les politiques et les pratiques<sup>(3)</sup>. Ces pionniers estimaient que, pour être en accord avec l'éthique environnementale de l'agriculture biologique, il fallait faire confiance à l'expertise des agriculteurs pour vérifier leurs propres pratiques. Ce type de certification s'est érodé dans les années 1980 avec l'intégration progressive de l'agriculture biologique dans les législations nationales et les systèmes commerciaux internationaux. Cependant, les SPG ont réapparu dans les années 2000 (jusqu'à 76 pays en 2019). La plupart de ces pays sont situés dans les pays du Sud, où les SPG sont apparus pour contrebalancer le paradigme normatif dominant adopté par des acteurs non gouvernementaux et des entreprises des pays du Nord via la certification par tierce partie. Cette dernière était considérée comme trop chère pour de nombreux petits producteurs et pas applicable aux conditions agroécologiques et sociotechniques locales. **En 2021, onze pays et une organisation intergouvernementale régionale ont défini les SPG comme étant une approche légale de certification pour les produits agroécologiques ou biologiques sur les marchés nationaux, à savoir la Bolivie, Brésil, Chili, Costa Rica, Polynésie française, Inde, Madagascar, Mexique, Nouvelle-Calédonie, Nouvelle-Zélande, Philippines et la Communauté d'Afrique de l'Est (norme « Kilimo Hai »).**



▲ Mécanisme d'innovation d'un SPG. © A. Loconto

▼ Réunion du comité de certification SPG de Quezon, Lucena, Philippines. 7 mars 2019. © A. Loconto



**Contact**

Allison Loconto (Lisis, INRAE, France),  
allison-marie.loconto@inrae.fr

**Plus d'informations**

- (1) Loconto A., 2017. Models of assurance: diversity and standardization of modes of intermediation. *The Annals of the American Academy of Political and Social Science*, 670(1): 1-21.
- (2) Loconto A., Hatanaka M., 2018. Participatory guarantee systems: alternative ways of defining, measuring, and assessing 'sustainability'. *Sociologia Ruralis*, 58(2): 412-432.
- (3) Niederle P., Loconto A., Lemeilleur S., Dorville C., 2020. Social movements and institutional change in organic food markets: evidence from participatory guarantee systems in Brazil and France. *Journal of Rural Studies*, 78: 282-29.



## Soutenir l'écologisation de l'agriculture à la lumière des défis de l'innovation ouverte

La collaboration inter-organisationnelle entre les organisations publiques, privées et de la société civile, est essentielle pour encourager les innovations sociales qui répondent aux problèmes fondamentaux liés à la mise en œuvre de l'intensification écologique dans des contextes locaux. Les principaux défis concernent « l'ouverture » des organisations, c'est-à-dire la réalisation des compromis essentiels entre d'une part, compétitivité, contrôle, propriété et réalisations à court terme et, d'autre part, partage des connaissances et des valeurs, créativité, incertitudes et réalisations plus vastes<sup>(1)</sup>. Le Cirad tente de relever ces défis en soutenant des plateformes d'innovation multi-acteurs institutionnalisées, des projets d'innovation en partenariat ou des réseaux d'innovation informels, qui proposent des mécanismes de coordination et un environnement d'apprentissage pour l'innovation ouverte. Au Burkina Faso, trois de ces mécanismes de coordination ont été soutenus afin de répondre à différents problèmes : une plateforme d'innovation par la recherche a été développée pour tester un

modèle d'agriculture de conservation à l'échelle villageoise<sup>(2)</sup> ; un réseau d'organisations promouvant l'agroécologie a développé le premier label biologique national ; et un partenariat pour l'innovation, dirigé par les utilisateurs finaux, afin de développer des services de conseil en agroécologie fournis par des organisations paysannes<sup>(3)</sup>.

**Les résultats ont montré que les protocoles d'interaction sont nécessaires pour aider les diverses organisations à partager une vision commune sur les aspects nécessitant un changement tout en alignant leurs objectifs et activités pour parvenir à des solutions viables.** Citons comme résultat le plus immédiat l'augmentation des capacités de collaboration grâce à une confiance mutuelle et un programme d'innovation commun. Les résultats à plus long terme, en particulier ceux liés au développement de nouvelles technologies, dépendent de la qualité du processus de facilitation par des tiers : lorsque des facilitateurs externes gèrent au bon moment

la production conjointe de connaissances et la mise à disposition de ressources matérielles, le rythme de conception et de mise à l'échelle de solutions innovantes viables augmente<sup>(4)</sup>. Sur la base de ces nouvelles connaissances concernant les facteurs de succès de l'innovation ouverte, le Cirad a développé un agenda de R&D au carrefour des sciences de gestion appliquées à l'innovation et des études organisationnelles afin de promouvoir la coproduction de connaissances avec des praticiens de l'innovation ouverte facilitée par des tiers, et ce afin d'accélérer les transitions agroécologiques au Sud.

### Contact

Aurélien Toillier (Innovation, Cirad, France), aurelien.toillier@cirad.fr

### Plus d'informations

(1) McGahan A.M., Bogers M.L., Chesbrough H., Holgersson M., 2020. Tackling societal challenges with open innovation. *California Management Review*, 0008125620973713.

(2) Dabire D., Andrieu N., Djamen P., Coulibaly K., Posthumus H., Diallo A., Karambiri M., Douzet J.-M., Triomphe B., 2017. Operationalizing an innovation platform approach for community-based participatory research on conservation agriculture in Burkina Faso. *Experimental Agriculture*, 53(3): 460-479.

(3) Toillier A., Kola Nomandé P., Mathe S., Tsafack S., Dabire D., Triomphe B., 2019. The ecologisation of agriculture through the prism of collaborative innovation. In: Côte F.-X. et al. (eds), *The agroecological transition of agricultural systems in the Global South*. Éd. Quae, Versailles: 251-270. [www.quae-open.com/produit/114/9782759230570/the-agroecological-transition-of-agricultural-systems-in-the-global-south](http://www.quae-open.com/produit/114/9782759230570/the-agroecological-transition-of-agricultural-systems-in-the-global-south)

(4) Toillier A., Kola P., 2020. Le rôle des pratiques de gestion interorganisationnelles dans le renforcement de communautés d'innovation inexpérimentées : étude exploratoire au Burkina Faso. *Innovations*, 2: 191-220.

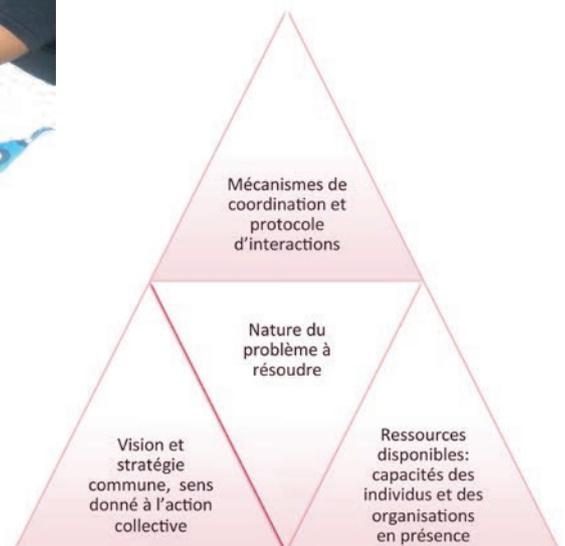


### Techniques de facilitation pour aider l'innovation ouverte.

En haut : facilitation d'événements de rapprochement entre innovateurs et décideurs politiques (projet CDAIS). © Cirad

En bas : facilitation de l'analyse des réseaux sociaux (projet CDAIS). © Cirad

Facteurs de succès de la collaboration inter-organisationnelle pour l'innovation sociale ouverte. Adapté de Toillier et al. (2019)



# Considérer les dispositifs territoriaux comme des communs pour renforcer la transition agroécologique

L'agroécologie doit se penser au-delà (i) des seuls changements techniques, (ii) de la parcelle et des exploitations et (iii) des sphères sectorielles et des filières. Définir de nouvelles règles d'usage des ressources, mettre en place des politiques publiques adaptées, créer de nouveaux marchés publics pour les produits agroécologiques, produire des services écosystémiques ou fédérer des acteurs en associations ou coopératives, sont des étapes obligées de la transition agroécologique. Ces processus nécessitent une action plurielle, collective et institutionnelle, coordonnée à des échelles englobantes. Dans ces conditions, le dispositif territorial cherche à cadrer l'action collective en construisant de nouveaux arrangements institutionnels entre acteurs, qui correspondent aux règles du jeu et leurs usages au sein des territoires. Il constitue un assemblage intentionnel d'éléments matériels (structure organisationnelle, plateforme,

instruments, outils, etc.) et immatériels (idées, savoirs, attitude, etc.). Il a souvent une portée politique.

Chaque dispositif met en œuvre les normes qu'il a définies à sa façon et à son rythme, en mobilisant des instruments spécifiques. Au Brésil<sup>(1)</sup>, de nombreuses organisations se sont créées dans le Semi-aride pour soutenir politiquement des propositions agroécologiques locales ; des arrangements productifs locaux, mis en place dans le cadre de la politique des territoires ruraux, cherchent à consolider l'insertion productive des agriculteurs familiaux et à conforter la dimension agroécologique ; des chartes et des certifications territoriales (ex. Paragominas en Amazonie orientale) sont définies pour favoriser des pratiques agricoles plus écologiques combinées à de nouvelles règles d'utilisation des espaces et de ressources et à une modification des rapports de force. **Appliquer au dispositif territorial**

**les modes de gestion d'un bien commun\* assure davantage d'efficacité car les règles co-construites par les acteurs, sont mieux appropriées.** Ces règles doivent faire l'objet d'une gestion des différends et d'un autocontrôle afin de les ajuster. Ces processus favorisent les apprentissages et concourent à la légitimité des dispositifs territoriaux. Ils modifient les rapports aux territoires en apportant une vision commune des problèmes et des solutions et en participant à la gouvernance de la transition agroécologique, en articulant actions individuelles, collectives et gouvernementales. **Le dispositif territorial est un élément clé de l'institutionnalisation de l'agroécologie dans les territoires.**

\*Ressource partagée et gérée collectivement par une communauté.



## Contact

Marc Piraux (Tetis, Cirad, France), marc.piraux@cirad.fr

## Plus d'informations

(1) Piraux M., Tonneau J.P., Pocard-Chapuis R., 2019. Territorial mechanisms: common goods for undertaking the agroecological transition. In Côte F.-X. et al. (eds): *The agroecological transition of agricultural systems in the Global South*. Éditions Quae, Versailles: 293-312. (Agricultures et défis du monde).

◀ Construction de règles de gestion des ressources naturelles en Amazonie brésilienne. © M. Piraux

# Modélisation et paradigme systémique

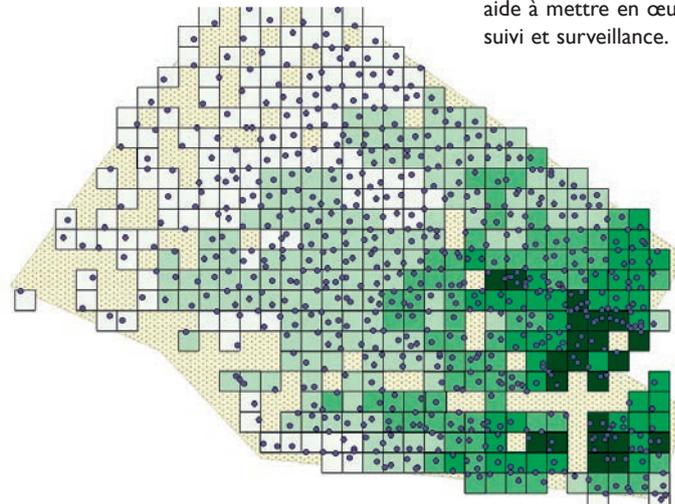
*La transition agroécologique au cœur des recherches interdisciplinaires*

Les enjeux agroécologiques nécessitent des approches interdisciplinaires d'une part du point de vue des connaissances acquises par modélisation afin de définir des solutions d'adaptation et des outils de suivi, et d'autre part, pour définir et mettre en œuvre un nouveau paradigme afin de reconnecter l'homme au vivant

(avec une traduction juridique). Trois exemples de modèles ont été développés par Espace-Dev avec une voie de coviabilité socio-écologique :

- L'agrosystème oasien (palmeraies à Djibouti) permet le développement d'une agriculture durable en zone aride mais il est fragilisé par les changements climatiques. Une méthodologie

basée sur les systèmes d'information géographique et utilisant des données *in situ* et de télédétection, a permis de mieux connaître les capacités d'adaptation des palmiers soumis aux stress hydriques et salins. Capitaliser des connaissances sur cet agrosystème à moyen et long termes (jeux de données aux formats du web sémantique) aide à mettre en œuvre un dispositif pour son suivi et surveillance.



▲ Parcelle Mohamed Djama près d'Ali Sabieh, Djibouti : photo aérienne Google Maps (à gauche) et analyse en laboratoire (à droite). © M. Djama

- Une base de données de simulation du changement climatique est dédiée aux études des impacts et risques futurs pour l'agriculture en Afrique de l'Ouest. L'objectif est ici d'anticiper les scénarios possibles, comme stratégies d'adaptation, afin de mettre en œuvre des solutions de transition à travers un portail web\* co-construit avec les acteurs et partenaires africains.
- Une démarche innovante de co-construction entre acteurs territoriaux (Cévennes, France) et recherche, a abouti au pacte pastoral intercommunal\*\* formalisant une régulation territoriale agroécologique.

L'impératif écologique impose aux sociétés modernes, du Nord comme du Sud, de se transformer. Cette nécessaire mutation nécessite une autre relation de l'homme au monde. Le concept-paradigme de coviabilité socio-écologique se définit par une viabilité conjointe entre les êtres vivants. Cette interdépendance systémique pose les fondements d'une nouvelle voie dans l'anthropocène du rapport des sociétés humaines à l'environnement et à l'agriculture. **L'agroécologie se présente comme un modèle de coviabilité socio-écologique. La recherche interdisciplinaire se réalise sur les interactions partant des**

**pratiques, des régulations et de la diversité des réseaux vivants constitutifs des socio-écosystèmes.** Notre recherche se concrétise par des méthodologies permettant leur évaluation, la définition d'indicateurs d'appropriation de ce paradigme par les acteurs sur des sites pilotes et l'expérimentation de régulations juridiques à l'échelle du territoire.

\* Portail de scénarios climatiques : <https://retcl.teledeleco.fr/climap/proj>  
 \*\* Pacte pastoral : <https://caussesagoualcevennes.fr/competences/pacte-pastoral/>

**Contact**

Carmen Gervet (Espace-Dev, UM, France), [carmen.gervet@ird.fr](mailto:carmen.gervet@ird.fr)

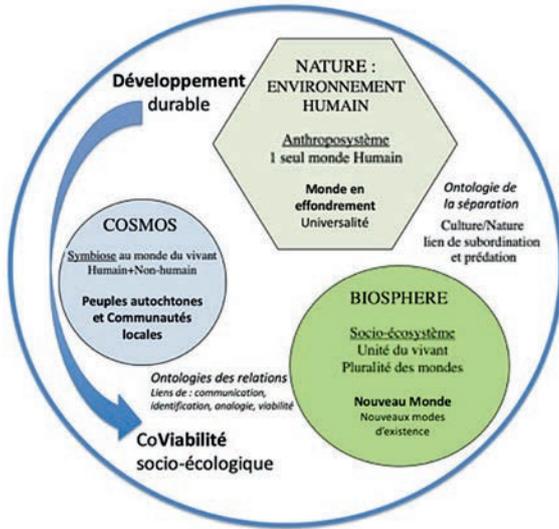
**Autres auteurs**

Olivier Barrière (Espace-Dev, IRD, France)  
 Mahdi Djama (Centre d'étude et de recherche de Djibouti, Cerd)  
 Isabelle Mougenot (Espace-Dev, UM, France)  
 Benjamin Sultan (Espace-Dev, IRD, France)

**Plus d'informations**

- Barrière O. et al. (éd.), 2019. *Coviability of social and ecological systems: reconnecting mankind to the biosphere in an era of global change*. Vol.1 et 2. Springer.
- Barrière O., 2017. Human relationship to the land from a legal perspective as a human and environmental security challenge. In Behnassi M., McGlade K. (eds.), *Environmental change and human security in Africa and the Middle East*. Springer: 259-304.

◀ *L'apport de l'agroécologie, une dimension dépassant la nature (séparée des sociétés) pour un rapport au vivant en termes de coviabilité.*



## Quelles politiques publiques d'appui à l'agroécologie en Amérique latine et dans les Caraïbes ?

L'agroécologie latino-américaine propose de transformer les systèmes agroalimentaires conventionnels. Elle est portée par des mouvements sociaux qui ont su constituer des coalitions conduisant à sa prise en compte par les politiques publiques. Les instruments de ces politiques sont variés et s'insèrent souvent dans des programmes qui appuient également l'agriculture biologique et l'agriculture durable. Or ces deux types d'agriculture, tout en proposant des pratiques plus écologiques, ne remettent pas en cause les fondements du système agroalimentaire conventionnel. La mise en œuvre d'instruments en faveur de l'agroécologie dépend donc des rapports de force instaurés dans chaque pays. Ces politiques restent fragiles face aux soutiens massifs de l'agriculture conventionnelle. Leur défi est donc de convaincre plus largement agriculteurs, consommateurs et décideurs autour des questions de santé publique et de sécurité et souveraineté alimentaire. Trois éléments sont à

l'origine de ces politiques : (i) des pressions exercées par des mouvements sociaux, (ii) la recherche de réponses à des crises environnementales provoquées par des modèles agroindustriels spécialisés ou des événements climatiques extrêmes, ou des crises géopolitiques et financières, (iii) des réponses partielles des pouvoirs publics aux enjeux environnementaux (loi du développement rural durable au Mexique, reconnaissance de bénéfices environnementaux à l'agriculture au Costa Rica, plan d'agriculture durable au Chili). Malgré ces avancées, la production agroécologique reste encore dispersée et marginale, sauf à Cuba (65 % des produits agroalimentaires).

**La mise en œuvre et le suivi des politiques en faveur de l'agroécologie dépendent de coordinations entre différents acteurs et niveaux : entre mouvements sociaux portant les modèles alternatifs et organismes publics, entre institutions de régulation des normes, entre administrations nationales et territoriales.**

promeut les marchés agroécologiques de proximité. L'échelle des territoires est essentielle, pour permettre aux producteurs, aux consommateurs et à leurs organisations d'adapter ces instruments selon leur contexte spécifique

\* Ecoforte, programme d'expansion et de renforcement des réseaux de l'agroécologie et de l'agriculture biologique, Brésil. Programme ProHuerta, Argentine : <http://prohuerta.inta.gov.ar>

▼ *Marché agroécologique à Buenos Aires, Argentine.* © C. Moyano



Pour convaincre à la fois les producteurs et les décideurs, les instruments politiques promouvant l'agroécologie gagneraient à être flexibles et conçus à plusieurs échelles comme le programme Ecoforte\* au Brésil qui appuie la structuration de réseaux territoriaux de gestion des savoirs agroécologiques ou Prohuerta\* en Argentine qui

**Contacts**

Éric Sabourin (ART-Dev, Cirad, France), [eric.sabourin@cirad.fr](mailto:eric.sabourin@cirad.fr)  
 Jean-François Le Coq (ART-Dev, Cirad, France/Alliance of Bioversity International and CIAT, Colombie), [jf.lecoq@cgiar.org](mailto:jf.lecoq@cgiar.org)

**Plus d'informations**

Sabourin E., Le Coq J.-F., Fréguin-Gresh S., Marzin J., Bonin M., Patrouilleau M.M., Vázquez L., Niederle P., 2018. Public policies to support agroecology in Latin America and the Caribbean. *Perspective*, 45. Cirad, Montpellier. <https://doi.org/10.19182/agritrop/00020>



## Utiliser le marché du carbone comme source de financement durable du riz à faible émission

L'absence d'incitations financières pour les bénéfices environnementaux liés aux pratiques de production agroécologiques constitue un obstacle majeur à leur diffusion dans les zones rizicoles. Cette difficulté s'applique autant aux producteurs, qui doivent changer leurs pratiques pour répondre aux normes de durabilité, qu'aux investisseurs qui dépendent du rendement financier. Des crédits carbone pour le riz peuvent être générés par les agriculteurs éligibles qui suivent les protocoles normalisés de réduction des émissions ainsi que les directives de déclaration. L'efficacité des crédits carbone n'a cependant pas été prouvée dans le contexte des petits exploitants. Le riz paddy constitue l'une des options les plus prometteuses pour réduire les émissions du secteur agricole en raison de son niveau de référence élevé d'émissions, des technologies disponibles d'atténuation et des protocoles de certification

établis au niveau mondial<sup>(1)</sup>. Les principales activités visant à réduire les émissions du riz dans les exploitations comprennent l'irrigation intermittente et la gestion améliorée des engrais et des résidus<sup>(2)</sup>. Cependant, les incertitudes et les risques liés aux dispositifs de validation/vérification complexes et coûteux, en grande partie peu adaptés aux contextes des petits exploitants, entravent la réussite de ces stratégies. **Le riz étant majoritairement cultivé par des petits exploitants dans des pays à revenu faible ou intermédiaire, les stratégies de réduction des risques d'investissement consistent à cibler des pays qui disposent d'organismes de réglementation favorables, de systèmes d'échange de droits d'émission, de systèmes d'échange de droits d'émission, d'accords commerciaux favorables et de procédures transparentes de surveillance, de déclaration et de vérification (monitoring/reporting/verification, MRV).** Il est également

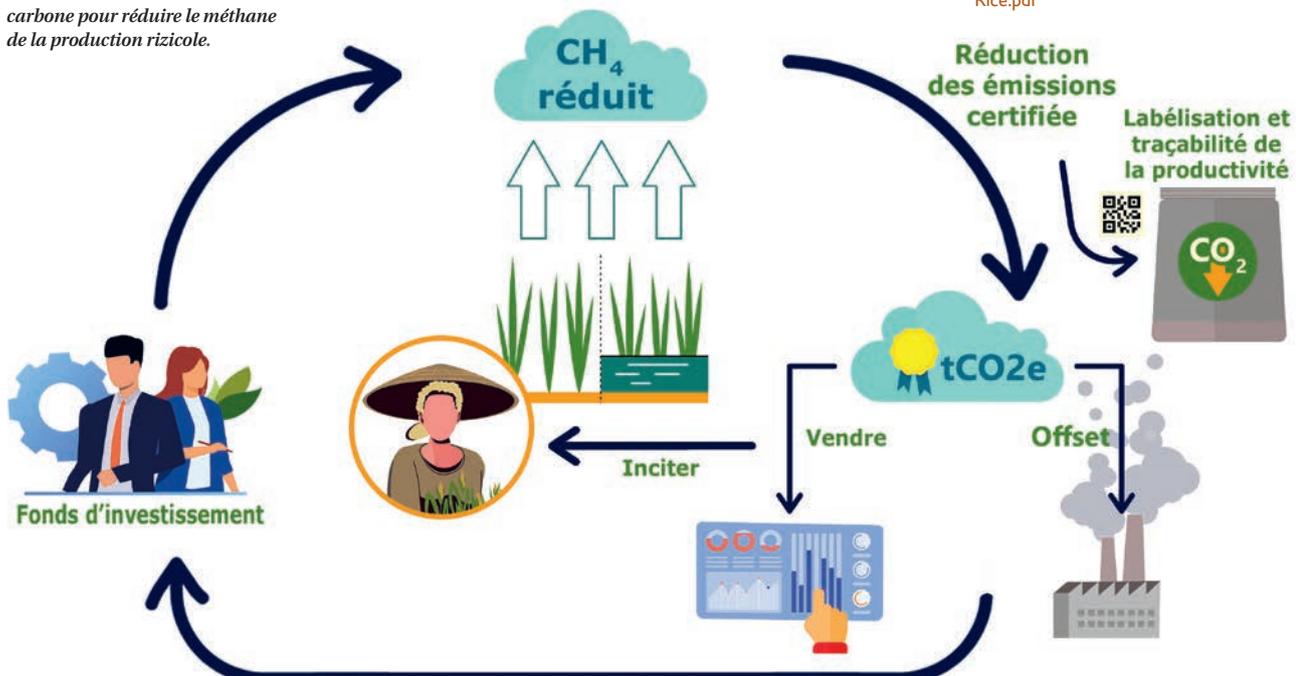
recommandé de lancer des appels aux fonds climatiques multilatéraux et aux mécanismes de financement mixte pour soutenir les obligations vertes souveraines et diversifier les investissements<sup>(3)</sup>. À plus petite échelle, les crédits carbone permettent aux investisseurs privés de compenser leurs propres émissions ou de monétiser la réduction des émissions. En plus d'autres co-bénéfices environnementaux tels que les économies d'eau, il existe de nouvelles possibilités de bénéfices avec des procédures d'accréditation adaptées, bien que cela n'ait pas été encore démontré. Les prochaines étapes d'évolution du marché des crédits carbone pour le riz à faibles émissions, consistent à adapter les procédures d'enregistrement du carbone pour les MRV afin de garantir la viabilité économique du processus dans le contexte des petits exploitants des pays à revenu faible et intermédiaire.

### Réduire les risques des investissements en ciblant les pays qui ont :



▲ Stratégies pour réduire les risques liés à l'investissement dans la production rizicole à faibles émissions.

▼ Investissement dans les crédits carbone pour réduire le méthane de la production rizicole.



### Contacts

Katherine M. Nelson (IRRI, CGIAR, Vietnam), [k.nelson@irri.org](mailto:k.nelson@irri.org)

Bjoern Ole Sander (IRRI, CGIAR, Vietnam), [b.sander@irri.org](mailto:b.sander@irri.org)

### Plus d'informations

(1) United Nations Framework Convention on Climate Change. 2020. *Clean Development Mechanism Methodology booklet*. [https://cdm.unfccc.int/methodologies/documentation/meth\\_booklet.pdf#AMS\\_III\\_AU](https://cdm.unfccc.int/methodologies/documentation/meth_booklet.pdf#AMS_III_AU)

(2) Tran V.T., Mai V.T., Nguyen T.D.T., Le H.A., Richards M.B., Sebastian L., Wollenberg E., Vu D.Q., Sander B.O., 2019. An investment plan for low-emission rice production in the Mekong River Delta region in support of Vietnam's Nationally Determined Contribution to the Paris Agreement. *CCAFS Working Paper*, 263. Wageningen, Netherlands: CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS). [www.ccafs.cgiar.org](http://www.ccafs.cgiar.org)

(3) Earth Security Group, 2019. *Financing sustainable rice for a secure future: innovative finance partnerships for climate mitigation and adaptation*. <https://earthsecuritygroup.com/wp-content/uploads/2019/11/ESG-Financing-Sustainable-Rice.pdf>

# Progrès et défis des modèles commerciaux inclusifs dans les secteurs du cacao et du palmier à huile au Ghana et au Pérou

Les modèles commerciaux inclusifs (IBM pour *inclusive business models*) mettent en relation des petits exploitants, ainsi que d'autres personnes à faible revenu, avec des acheteurs, transformateurs et négociants des chaînes de valeur de produits agricoles et forestiers. Les acteurs de la chaîne de valeur s'engagent les uns envers les autres à travers divers arrangements institutionnels, notamment des normes internationales (comme le Pacte mondial des Nations Unies, zéro déforestation) et sectorielles (comme la Table ronde sur l'huile de palme durable, RSPO, ou l'Initiative Cacao et Forêts, ICF), des certifications (commerce équitable, agriculture biologique par exemple) et l'agriculture contractuelle. Afin de mieux comprendre leurs performances, tant du point de vue des petits exploitants que des entreprises, nous avons étudié les IBM au Ghana et au Pérou en deux phases :

(i) une étude de cadrage des IBM dans trois chaînes de valeur au Ghana (cacao, palmier à huile, caoutchouc) et au Pérou (cacao, café, palmier à huile) : analyse des informations secondaires, entretiens avec des informateurs clés (n = 39) parmi les acheteurs et les prestataires de services, et discussions en groupe (*focus group discussion*, FGD, n = 3) pour des échanges d'information et validation avec les parties prenantes de la chaîne de valeur ;

(ii) une étude approfondie basée sur une enquête auprès de ménages sélectionnés de manière aléatoire et participant aux IBM (n = 948) dans deux chaînes de valeur prioritaires par pays (cacao, palmier à huile), avec deux IBM par chaîne, et un FGD (un par IBM) pour des échanges d'informations et validation par les représentants des petits exploitants. Notre analyse s'est concentrée sur les actifs des ménages (capital humain, social, naturel, physique et financier) afin d'évaluer la performance socio-économique des IBM, et sur des indicateurs à l'échelle du paysage pour leur performance environnementale.

Pour les huit IBM, les actifs des ménages des petits exploitants voient leurs cinq capitaux se développer significativement. Toutefois, les résultats varient considérablement selon les IBM et les ménages. Nous avons également constaté une grande variation en termes de performance environnementale, notamment en ce qui concerne la contribution respective de chaque IBM à la conservation des forêts et à la déforestation. Notre analyse montre dans **quelle mesure les arrangements institutionnels contribuent aux résultats mesurés ou observés, en lien avec d'autres facteurs de changement.**

**Il est possible de concevoir et de mettre en œuvre des IBM de manière à favoriser le développement des actifs des petits exploitants, la viabilité économique et la performance environnementale des IBM.**

**Contacts**

Dietmar Stoian (ICRAF, CGIAR, Allemagne), [d.stoian@cgiar.org](mailto:d.stoian@cgiar.org)

Divine Foundjem (ICRAF, CGIAR, Cameroun), [d.foundjem@cgiar.org](mailto:d.foundjem@cgiar.org)

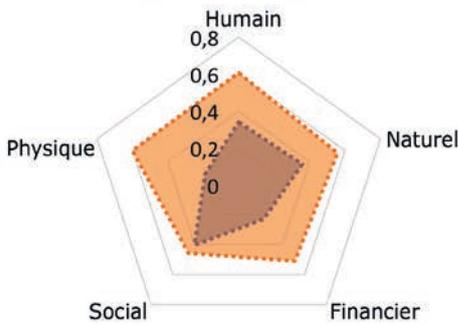
Enoch Kikulwe (Alliance of Bioversity International and CIAT, CGIAR, Ouganda), [e.kikulwe@cgiar.org](mailto:e.kikulwe@cgiar.org)

**Plus d'informations**

- Schoneveld G.C., 2020. Sustainable business models for inclusive growth: towards a conceptual foundation of inclusive business. *Journal of Cleaner Production*, 124062.
- Stoian D., Foundjem D., Kikulwe E., Blare T., Menza G., Van der Haar S., 2021. Progress and persistent challenges of inclusive business models: insights from the cocoa and oil palm value chains in Ghana and Peru. ICRAF, CIFOR, Alliance of Bioversity International and CIAT, Nairobi, Kenya.

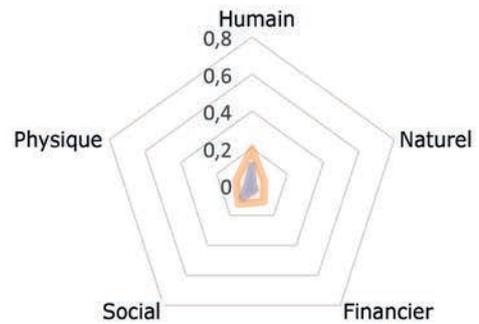
## Cacao Allima

- Cooperativa Agraria Cacao (attribué aux IBM)
- Cooperativa Agraria Cacao (global)



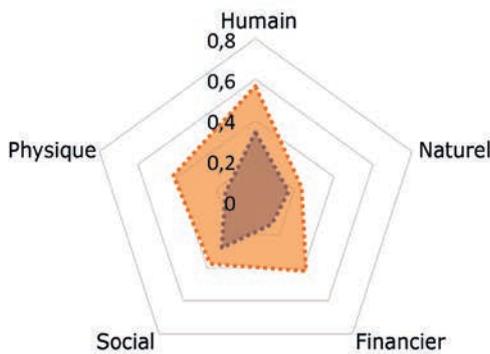
## Cacao Makao

- Agroindustrias Makao (attribué aux IBM)
- Agroindustrias Agraria Makao (global)



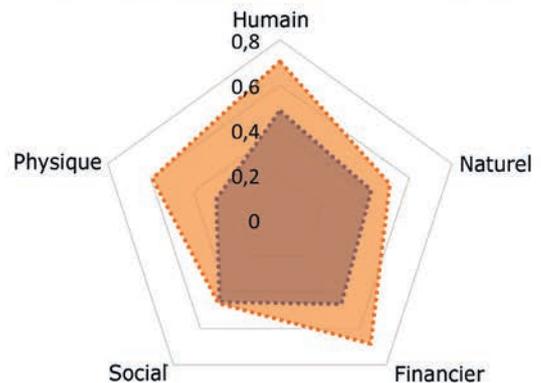
## Palmier à huile OLPEsa

- Olpesa (attribué aux IBM)
- Olpesa (global)



## Palmier à huile OLPEsa

- JARPAL (attribué aux IBM)
- JARPAL (global)



▲ Constitution et attribution des capitaux dans quatre modèles commerciaux inclusifs au Pérou. D'après Stoian et al. (2021)

# Accélérer les transitions agroécologiques

## L'écosystème privé-public caché

Atteindre la sécurité alimentaire et nutritionnelle mondiale, tout en réduisant les impacts sur l'environnement naturel et en améliorant le bien-être, constitue un objectif complexe et nécessite plusieurs compromis<sup>(1)</sup>. Des transitions simultanées sont en effet nécessaires à de multiples niveaux - économique, socio-écologique et politico-institutionnel - pour changer la situation actuelle. Les pratiques agricoles durables, fondées sur les principes agroécologiques, sont promues comme un changement de paradigme pour une transition des systèmes alimentaires à de multiples niveaux et garantissent une utilisation régénérative des ressources naturelles. Cependant, les cadres existants de durabilité et de transition agroécologique qui accompagnent la prise de décision sont dominés par les concepts d'innovations sociales et socio-écologiques<sup>(2)</sup>, tandis que l'écosystème privé-public est souvent négligé et que son rôle dans l'accélération de la transformation des systèmes alimentaires est généralement méconnu. Pour combler ces lacunes, de nouvelles initiatives telles que le projet « Agroecological transitions », visent des incitations à long terme et des investissements privés et publics innovants pour les transitions agroécologiques. Dans ce contexte, nous avons réalisé une revue bibliographique prospective afin de concevoir un cadre de transition

écosystémique privé-public. Ce cadre décompose un écosystème privé-public caché en des : (i) incitations et investissements ; (ii) institutions relais ; (iii) recherche et développement ; et (iv) start-ups et entreprises. **Les interactions au sein de cet écosystème privé-public (par exemple entre réglementations, investissements et incitations) influencent les systèmes alimentaires, depuis la pré-production jusqu'à la post-consommation, et la réalisation de la transition agroécologique (figure).**

**Avec la demande croissante de transparence des systèmes alimentaires, il est essentiel, pour les transformer, d'inciter les entreprises à utiliser des indicateurs agroécologiques holistiques comme outils de traçabilité.** La collaboration doit être optimale au sein de l'écosystème privé-public afin d'exploiter les investissements (financements mixtes, contrats à impact, etc.) et le secteur privé doit être motivé au travers des droits de propriété intellectuelle, d'allègements fiscaux et de subventions écologiques à différents niveaux du système alimentaire. Un écosystème privé-public plus visible offre en effet de nouvelles opportunités d'accélération de transitions agroécologiques simultanées en réduisant les risques, en mobilisant des investissements et

en compensant les compromis pour contribuer à des systèmes alimentaires plus équitables sur le plan social, plus efficaces sur le plan économique et plus respectueux de l'environnement.

### Contacts

Jonathan Mockshell (Alliance of Bioversity International and CIAT, Colombie), j.mockshell@cgiar.org

Roseline Remans (Alliance of Bioversity International and CIAT, Belgique), r.remans@cgiar.org

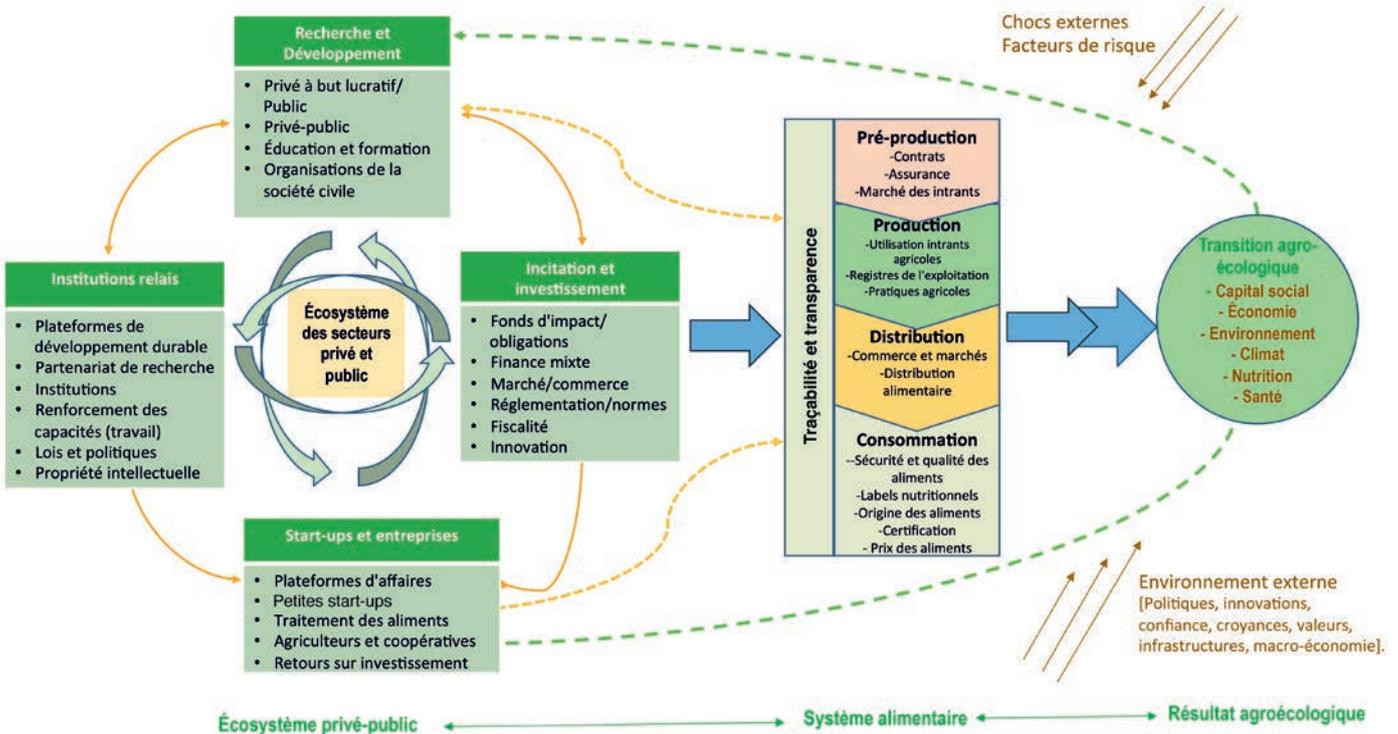
Sarah Jones (Alliance of Bioversity International and CIAT, France), s.jones@cgiar.org

Natalia Estrada Carmona (Alliance of Bioversity International and CIAT, France), n.e.carmona@cgiar.org

### Plus d'informations

(1) Mockshell J., Kamanda J., 2018. Beyond the agroecological and sustainable agricultural intensification debate: is blended sustainability the way forward? *International Journal of Agricultural Sustainability*, 16(2): 127-149.

(2) Ollivier G., Magda D., Mazé A., Plumecocq G., Lamine C., 2018. Agroecological transitions: what can sustainability transition frameworks teach us? An ontological and empirical analysis. *Ecology and Society*, 23(2): 5.



▲ Cadre de transition des écosystèmes privé-public.

## Débloquer des financements pour l'agroécologie à grande échelle

Les investisseurs privés en général, et c'est aussi vrai en agriculture, ont principalement un objectif de rendement financier qui tient compte des risques encourus en investissant. Pour des projets mobilisant un grand nombre d'acteurs sur le terrain, ils sont aussi très attentifs aux coûts de transaction et recherchent des économies d'échelle dans ce domaine (limiter les coûts de transaction par volume investi). Les fonds publics, quant à eux, peuvent mettre les objectifs de contribution au développement durable au premier plan par rapport aux objectifs de rendements financiers, mais ils sont limités et insuffisants pour, à eux seuls, subvenir aux besoins d'investissements pour atteindre les ODD « faim zéro », « eau propre et assainissement », « consommation et production durables », « mesures relatives à la lutte contre les changements climatiques » et « vie terrestre »<sup>(3)</sup>. L'agroécologie peut contribuer à ces ODD, mais plusieurs obstacles empêchent son déploiement<sup>(2)</sup>, notamment l'accès à l'argent privé pour financer la transformation agroécologique de l'agriculture conventionnelle. La co-création de connaissances locales et scientifiques et l'implication équitable des parties prenantes conduisant à des pratiques localement adaptées<sup>(4)</sup> aux contextes sociaux, économiques et écologiques est un atout clef de l'agroécologie. Mais cette dépendance à des contextes finement définis complique la tâche de documentation et peut aller à l'encontre des

attentes des investisseurs désireux de soutenir des changements d'échelle, surtout s'ils cherchent des résultats prévisibles et amplifiables quels que soient les contextes.

Les structures financières innovantes, en particulier celles qui associent fonds publics et privés, pourraient répondre à ces défis de financement des transitions agroécologiques, mais ces structures sont plus adaptées et donc efficaces pour des projets de grande échelle. Outre l'échelle et le risque, d'autres obstacles empêchent l'accès des petites initiatives aux financements<sup>(3)</sup>. **Les enseignements tirés d'initiatives locales ayant surmonté ces obstacles pourraient être appliqués aux mécanismes de financement du développement de l'agroécologie. Un dénominateur commun du succès est la mise en place d'infrastructures financières locales**, par exemple des filiales bancaires locales, des coopératives de crédit, des associations d'épargne et de prêt, des coopératives ou des systèmes bancaires mobiles. Associer infrastructure financière locale et conseil technico-économique aux exploitations est un facteur déterminant du succès. Par exemple, en Ouganda, Ecotrust a combiné des fonds publics d'aide aux agriculteurs pour améliorer leurs connaissances financières, avec des fonds privés provenant d'acheteurs de crédits carbone<sup>(1)</sup> servant de garantie de revenu

pour les demandes de prêt des agriculteurs auprès des institutions financières locales dans l'objectif de leur permettre de démarrer des « start-ups ». Les revenus des exploitations (y compris les crédits carbone) sont utilisés pour rembourser les prêts et pour abonder des fonds renouvelables, qui ont ensuite vocation à remplacer les fonds publics, dans le soutien de nouvelles start-ups.

### Contacts

Bas Louman (Tropenbos International, Pays-Bas), [bas.louman@tropenbos.org](mailto:bas.louman@tropenbos.org)

Vincent Gitz (CIFOR, CGIAR, Indonésie), [v.gitz@cgiar.org](mailto:v.gitz@cgiar.org)

Alexander Meybeck (CIFOR, CGIAR, Indonésie), [a.meybeck@cgiar.org](mailto:a.meybeck@cgiar.org)

### Autres auteurs

Éveline Trines (Tropenbos International, Pays-Bas)

Michael Brady (CIFOR, CGIAR, Indonésie)

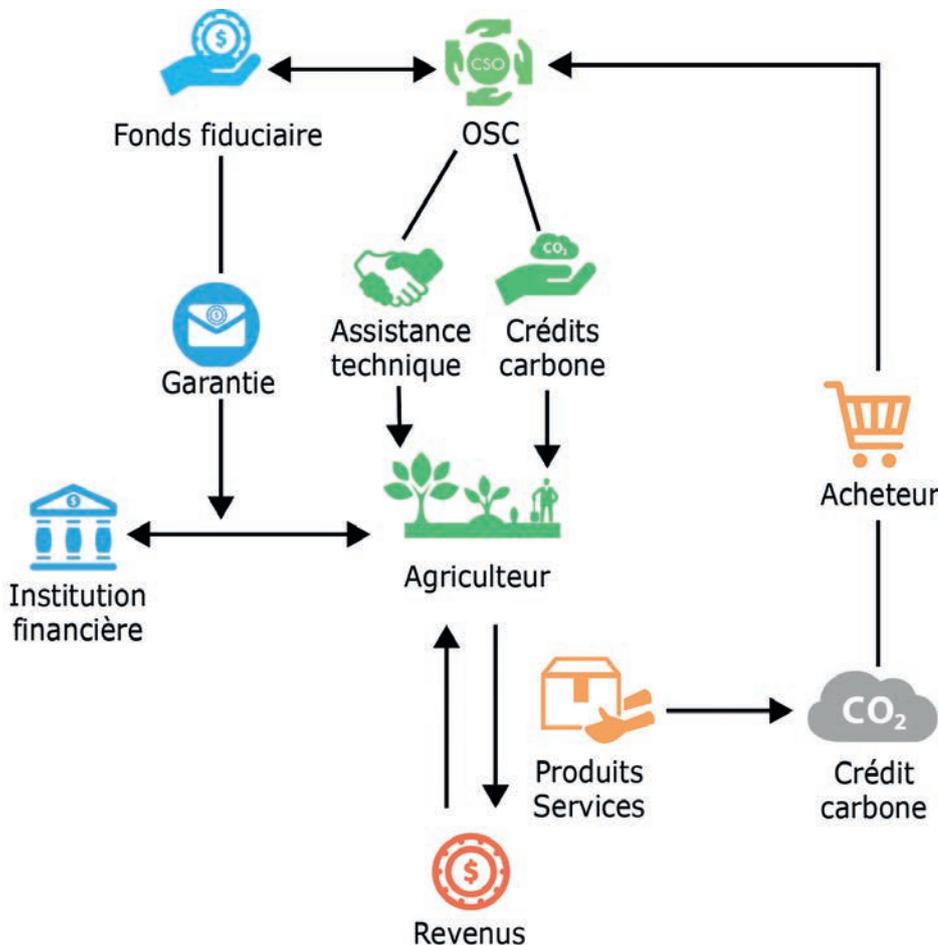
### Plus d'informations

(1) Byakagaba et al., à paraître. *The trees for global benefit financial system. Report.* Ecotrust/Tropenbos, Uganda/ Netherlands.

(2) FAO, 2018. *Scaling up agroecology initiative: transforming food and agricultural systems in support of the SDGs.* Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.

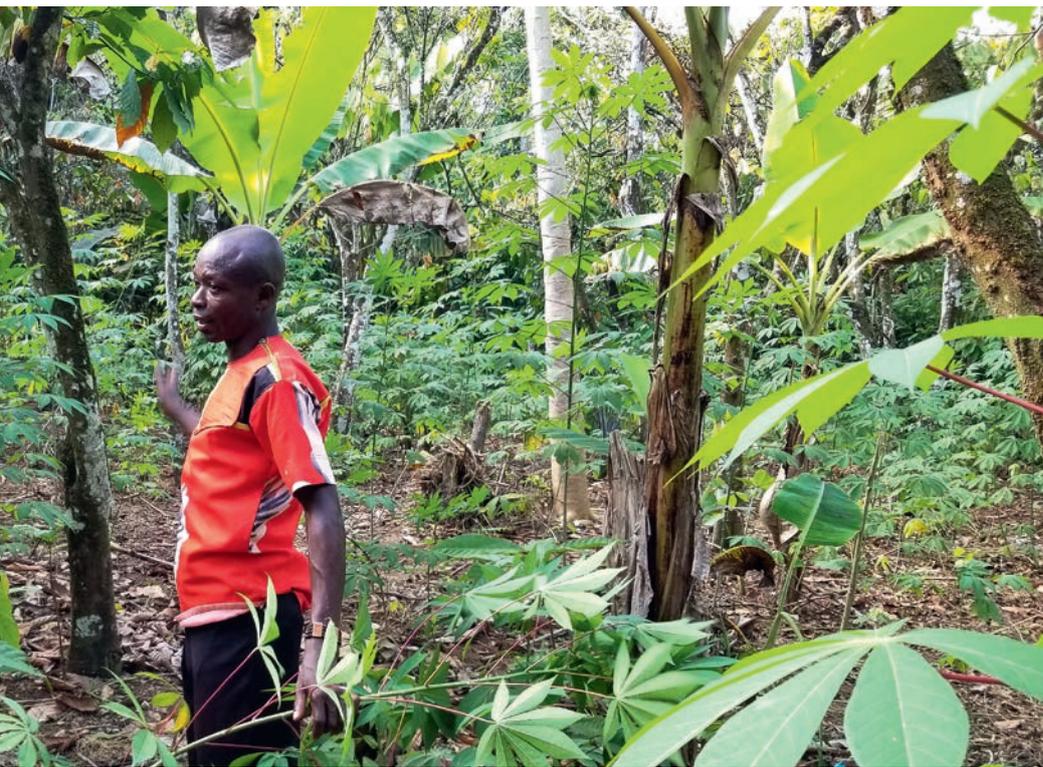
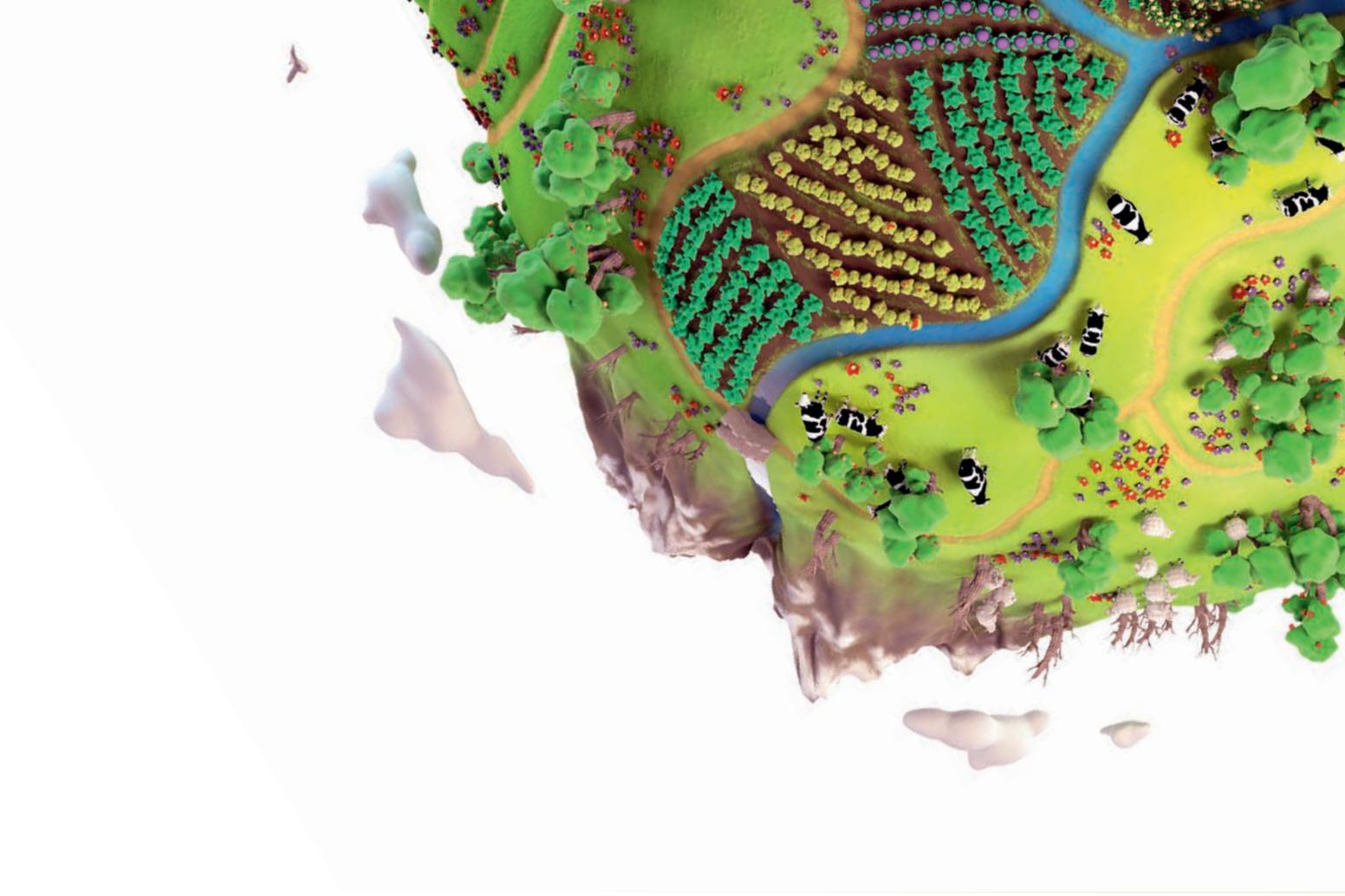
(3) Louman B., Meybeck A., Mulder G., Brady M., Fremy L., Savenije H., Gitz V., Trines E., 2020. *Innovative finance for sustainable landscapes.* Working Paper 7. Bogor, Indonesia: The CGIAR Research Program on Forests, Trees and Agroforestry (FTA).

(4) Wezel A., Herren B.G., Kerr R.B., Barrios E., Gonçalves A.L.R., Sinclair F., 2020. *Agroecological principles and elements and their implications for transitioning to sustainable food systems. A review.* *Agronomy for Sustainable Development*, 40(6): 1-13.



▲ Schéma simplifié de ce à quoi ressemblerait un mécanisme financier local si la séquestration du carbone était l'un des services fournis par une exploitation agroécologique. Modifié de Byakagaba (à paraître).

▲ Parcelle agroforestière à Juaboso, Ghana. © Hans Vellema/TBI





# *Partie 3*

*Processus clés,  
méthodes et outils  
pour l'agroécologie*

Cette partie est transversale aux chapitres précédents, structurés selon un gradient de transformation des systèmes agri-alimentaires. Elle illustre la contribution des organismes de recherche français et des centres du CGIAR aux connaissances agronomiques et écologiques de base, aux méthodes et outils de recherche pour engager les transformations des systèmes actuels vers des systèmes, des filières et des territoires pour l'agroécologie. Cette partie considère différentes échelles spatiales et fait appel aux sciences humaines et sociales comme à celles de l'écologie ou des sciences biotechniques. Elle couvre des travaux menés dans le cadre d'instituts ou d'infrastructures de recherche (nationales ou internationales), mais aussi des dispositifs transdisciplinaires, en lien avec les acteurs de la société, des initiatives locales ou nationales, pour la transition des systèmes agri-alimentaires.

**Mobiliser la connaissance des processus écologiques pour l'agroécologie :** introduire plus de biodiversité dans les agroécosystèmes est un gage de leur plus grande résilience face aux changements climatiques, aux difficultés d'accès aux ressources telles que l'eau ou les nutriments, et de résistance à la propagation des maladies. Mieux identifier, connaître et utiliser les ressources génétiques, intra- et interspécifiques, les associations culturelles et le rôle de cette diversification, contribuent à l'agroécologie. Quelques exemples illustrent les approches scientifiques et technologiques mises en œuvre pour explorer le rôle de cette diversification : apports de la génomique et du phénotypage des plantes et des associations végétales (Hippolyte et Mia, Tardieu *et al.*), mise en place de banques de semences (Fadda *et al.*) et associations de cultures (Tchamitchian *et al.*).

Les sols et la biodiversité associée ont un rôle dans le fonctionnement des agroécosystèmes, en particulier sur la structure des sols, et donc sur les conditions hydriques et biogéochimiques, l'accès aux ressources en

eau et en nutriments, et les réseaux trophiques des sols. Deux exemples illustrent ce rôle, l'un sur la macrofaune (Jouquet *et al.*), l'autre sur les microarthropodes du sol (Beggi et Menta).

**Des méthodes et des outils pour améliorer les pratiques agricoles et la gestion du paysage :** les pratiques agricoles, telles que la fertilisation et l'irrigation, doivent être gérées au plus près des besoins des agroécosystèmes, en visant non pas une production maximale, mais sa stabilité dans le temps, assurant ainsi les besoins alimentaires et nutritionnels, une minimisation des intrants comme l'eau, les nutriments, pour leur sauvegarde et pour la santé des écosystèmes terrestres et aquatiques. La diminution des ressources impose cette gestion parcimonieuse. Les contextes les plus vulnérables n'en ont pas le choix. Deux exemples illustrent ces questions, l'un sur la fertilisation dans le contexte du Sahel (Vanlauwe *et al.*), l'autre sur l'irrigation (Van Rooyen). Aux échelles des territoires, la restauration des paysages et les services écosystémiques apportés par les arbres appellent à questionner le choix des essences, en forêt (Fremout *et al.*) et dans les paysages agricoles (Coudel *et al.*).

**Des méthodes et des outils d'évaluation et d'apprentissage pour transformer les agroécosystèmes :** la connaissance, surtout les modes d'acquisition des connaissances et les méthodes d'apprentissage, constitue un levier pour construire des solutions, pas à pas et à façon, ce que nécessite la conception de systèmes agroécologiques. Les agriculteurs et les acteurs du secteur ont davantage besoin de construire des référentiels adaptés aux conditions sociales, économiques et environnementales, que d'appliquer des référentiels génériques. Ce champ recouvre le partage d'expériences et les réseaux d'acteurs (Labeyrie *et al.*), les guides (Coe et Sinclair), les méthodes d'évaluation multicritère des systèmes agricoles comme l'analyse du cycle de vie particulièrement adaptée à l'étude

▼ Co-construction de scénarios de paiements pour services environnementaux dans un contexte de planification territoriale au Yunnan, Chine.

© J.C. Castella/Projet I-REDD+, 2012



de solutions de recyclage ou de complémentarités entre systèmes (animal-végétal) (Aubin et Paillat, Van der Werf *et al.*), les plateformes de modélisation des systèmes de culture (Raynal et Casellas), les outils d'analyse et de pilotage des agroécosystèmes comme les outils d'aide à la décision et les outils d'analyse de l'état de l'écosystème, notamment ceux d'analyse du sol (Brauman et Thoumazeau). Cette partie est illustrée par plusieurs exemples. Les approches d'évaluation multicritère ou de modélisation, déployées sur des systèmes réels ou en élaboration par construction individuelle ou collective de scénarios, se heurtent souvent à des jeux de données insuffisants pour décrire la complexité des systèmes agroécologiques. L'acquisition de données nouvelles, chemin faisant, est complémentaire de ces démarches.

**Les living labs, facilitateurs de transformation des chaînes agro-alimentaires :** les *living labs*, ou laboratoires vivants, sont des dispositifs d'innovation ouverte, promouvant des travaux transdisciplinaires avec tout un ensemble d'acteurs des secteurs agricole et alimentaire, des ONG environnementales et de l'alimentation, des pouvoirs publics et privés, utiles pour concevoir des transformations sur toute une chaîne de valeurs, des producteurs aux consommateurs, en y associant des modes de gouvernance, des instruments économiques et de politiques publiques adaptés. Ces initiatives, souvent bien adaptées aux échelles territoriales, sont des facilitateurs, des incubateurs pour l'innovation (Neyra *et al.*). Les solutions peuvent s'avérer plus solides car d'emblée prenant en compte les acteurs clés, les contextes environnementaux et socio-économiques. Ces initiatives se développent depuis quelques années. Elles sont encore trop récentes et insuffisamment nombreuses pour en tirer un bilan en termes d'efficacité. Elles ont en tout cas un effet d'entraînement pour impulser des dynamiques d'innovation pour l'agroécologie, échanger sur des valeurs, construire des visions, mettre en

marque des transformations. Quelques exemples de *living lab* sont présentés dans cette partie (Mambrini-Doudet *et al.*, Andrieu, Gardeazabal *et al.*).

**L'apport du numérique à l'agroécologie :** le numérique se déploie dans tous les domaines du secteur agricole. Pour l'agroécologie, le numérique permet de suivre plus finement des dynamiques biologiques (dans le sol, les couverts végétaux, etc.), par des capteurs au sol ou par proxy et télédétection, voire – et c'est le but – de mieux piloter les agroécosystèmes (Biradar). Le numérique recouvre aussi tout le champ de l'information, des outils d'aide à la décision, de la gestion des informations entre acteurs, depuis la production à la consommation. Toutefois, pour favoriser les transitions agroécologiques, le numérique doit répondre aux besoins des chaînes de valeur et non l'inverse comme c'est souvent le cas. La complexité des systèmes agroécologiques et des transformations pour l'agroécologie, demande et demandera plus d'outils et de formations et davantage d'informations qu'il faut traiter et adapter à l'usage et aux usagers. L'apport du numérique pour l'agroécologie est important, participant à son déploiement. Deux exemples illustrent de manière très concrète l'apport du numérique (Reboud et Gée, Reboud et Crauser).

Jean-Luc Chotte (Eco&Sols, IRD)  
Chantal Gascuel (Direction scientifique  
pour l'environnement, INRAE)  
Vincent Gitz (CIFOR, CGIAR)



# Mobiliser la connaissance des processus écologiques pour l'agroécologie

## Les apports de la génomique à l'agroécologie

Dans quelles mesures les avancées scientifiques issues des projets financés par l'Agence nationale de la recherche (ANR) en génomique des animaux, des plantes et des microbes, pourraient enrichir les recherches en agroécologie ? En effet, le développement de nouvelles technologies d'étude du génome et de son

expression, et les travaux menés ces vingt dernières années dans le domaine de la génomique, ont généré des avancées cognitives et méthodologiques sur les fonctionnalités du vivant. Ces avancées pourraient contribuer aux recherches en agroécologie qui visent à mieux caractériser, comprendre et valoriser la biodiversité fonctionnelle pour, *in fine*, optimiser les régulations biologiques au sein des agroécosystèmes, en améliorer les fonctionnalités et concevoir des pratiques agricoles durables.

L'ANR a publié en 2020 un cahier thématique qui présente une analyse du financement des projets en génomique depuis 2005 – projets à fort intérêt pour l'agroécologie – et des pistes prioritaires de recherche en génomique pour appuyer les travaux en agroécologie. Il en ressort que **la génomique peut participer à lever des verrous cognitifs et méthodologiques sur des enjeux d'importance pour l'agroécologie.**

Transversalement à plusieurs enjeux, la génomique peut contribuer à optimiser les performances des agroécosystèmes et les services attendus par la valorisation de la biodiversité comme, par exemple, la lutte contre les ravageurs, une meilleure expression des fonctionnalités des microbiotes racinaires, une meilleure compréhension des interactions au sein de cultures associées, etc. Elle peut également aider à caractériser les fonctions assurées par les êtres vivants dans les agroécosystèmes, à définir les événements précoces permettant de

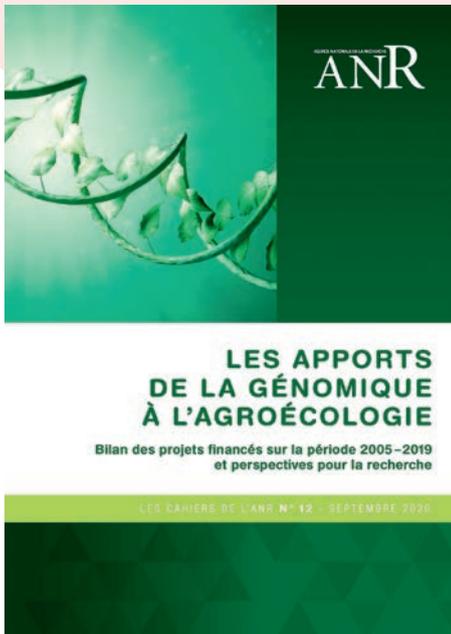
prévoir et de favoriser des phénotypes adultes, ou à déterminer les interactions entre organismes favorables au fonctionnement et à la durabilité des agroécosystèmes. Il ressort également de ces analyses que l'agroécologie nécessite des pas de temps pluriannuels – ce qui s'accommode mal avec la programmation de la recherche à travers des projets financés sur trois ans seulement – ainsi que des approches pluri- et interdisciplinaires. Ce sont les objectifs (privilégier les interactions et les relations, circuler entre niveaux d'organisation, aborder la diversité comme un atout, etc.), et surtout une vision commune qui feront converger et contribuer une diversité de disciplines à la transition agroécologique.

### Contacts

Isabelle Hippolyte (ANR, France), [isabelle.hippolyte@anr.fr](mailto:isabelle.hippolyte@anr.fr)  
Jannatul Mia (ANR, France), [jannatul.mia@anr.fr](mailto:jannatul.mia@anr.fr)

### Plus d'informations

- ANR, 2020. Les apports de la génomique à l'agroécologie. Bilan des projets financés sur la période 2005-2019 et perspectives pour la recherche. *Les cahiers de l'ANR*, 12, France.
- <https://anr.fr/fr/actualites-de-lanr/details/news/publication-du-cahier-n12-de-lanr-les-apports-de-la-genomique-a-lagroecologie/>
- Colloque sur les apports de la génomique en agroécologie, organisé par l'ANR (27 mars 2018, Montpellier, France) : <http://ptolemee.com/genomique-agro/index.html>

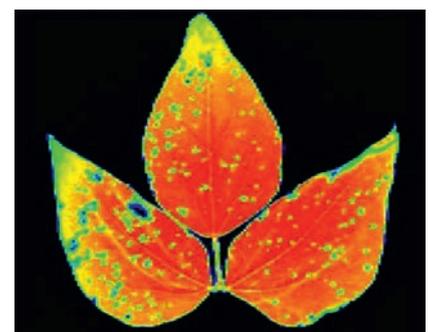


## Identification d'espèces et de génotypes pour répondre aux défis de l'agroécologie

L'agroécologie représente un défi majeur pour l'amélioration des plantes, axée actuellement sur la sélection de génotypes pour des couverts végétaux monospécifiques/monovariétaux, et sur la résistance génétique des plantes aux maladies. De nouvelles approches phénotypiques sont indispensables pour créer des couverts multispécifiques/multigénotypiques, ainsi que des méthodes intégrées pour exploiter les interactions biotiques. À cette fin, **Phenome-Emphasis\*** déploie de nouveaux outils (i) d'imagerie et d'intelligence artificielle pour déterminer la structure et la taille des composants d'un couvert (espèces/variétés) ; (ii) de modélisation des interactions entre ces composants afin d'optimiser la photosynthèse et la compétition entre plantes et limiter la dispersion des spores ; et (iii) d'organisation

des données pour adapter les systèmes d'information existants aux couverts complexes. Phenome-Emphasis fournit ainsi une base pour le développement de nouveaux modèles génomiques pour la sélection *in silico* de génotypes capables d'optimiser la photosynthèse du couvert, le rendement, la santé des plantes et la viabilité des mélanges d'espèces.

Phenome-Emphasis organise et coordonne, au niveau français, neuf infrastructures locales et deux projets méthodologiques, en développant : (i) de nouvelles approches d'imagerie combinées à l'intelligence artificielle ; et (ii) un système d'information capable d'organiser les données phénotypiques à différentes échelles de la plante, avec des données environnementales et des métadonnées pertinentes.



▲ Image en fausses couleurs de la photosynthèse basée sur l'imagerie par fluorescence dans une plante soumise à un pathogène.

© D. Rousseau/Université d'Angers/IRHS

Voici quelques exemples d'applications : (i) la modélisation 3D de couverts végétaux, avec des simulations de la dispersion des spores et de l'interception lumineuse selon la surface foliaire et l'architecture du blé<sup>(1)</sup> ; (ii) la prévision génomique du rendement du maïs selon des conditions environnementales variées en Europe et basée sur les réponses aux conditions environnementales<sup>(2)</sup> ; et (iii) l'imagerie des couverts végétaux avec reconnaissance des plantes individuelles dans des couverts monogénétiques<sup>(2)</sup> ; cette dernière application est actuellement étendue aux couverts complexes.

\* Phenome-Emphasis : [www.phenome-emphasis.fr/Installations](http://www.phenome-emphasis.fr/Installations)

#### Contacts

François Tardieu (Lepse, INRAE, France), [francois.tardieu@inrae.fr](mailto:francois.tardieu@inrae.fr)

Jacques Le Gouis (GDEC, INRAE, France), [jacques.le-gouis@inrae.fr](mailto:jacques.le-gouis@inrae.fr)

Bertrand Muller (Lepse, INRAE, France), [bertrand.muller@inrae.fr](mailto:bertrand.muller@inrae.fr)

#### Plus d'informations

(1) Garin G., Pradal C., Fournier C., Claessen D., Houlès V., Robert C., 2018. Modelling interaction dynamics between two foliar pathogens in wheat: a multi-scale approach. *Annals of Botany*, 121: 927-940.



▲ Imagerie de terrain avec une phéno-mobile. © Ph. Burger/INRAE Toulouse/Agir

(2) Li W., Fang H., Wei S., Weiss M., Baret F., 2021. Critical analysis of methods to estimate the fraction of absorbed or intercepted photosynthetically active radiation from ground measurements: application to rice crops. *Agriculture and Forest Meteorology*, 297: 108273.

(3) Millet E.J., Kruijer W., Coupel-Ledru A., Prado S.A., Cabrera-Bosquet L., Lacube S., Charcosset A., Welcker C., van Eeuwijk F., Tardieu F., 2019. Genomic prediction of maize yield across European environmental conditions. *Nature Genetics*, 51: 952-956.

## L'expérience des banques de semences communautaires : une analyse globale

L'agrobiodiversité est un élément essentiel de la transition agroécologique ; elle est au cœur de la conception de solutions fondées sur la nature qui améliorent la production (par exemple, dans les schémas de rotations culturales) et qui intègrent la biodiversité « utile » dans les systèmes de production (par exemple, les pollinisateurs). Cependant, rares sont les connaissances sur les approches efficaces d'utilisation de l'agrobiodiversité pour améliorer l'alimentation, la nutrition, l'adaptation et la résilience. Un défi consiste à identifier les sources et les accès à du matériel de reproduction approprié et aux connaissances sur les systèmes semenciers formels et informels, tout en comblant les lacunes de connaissances par une recherche participative et formelle. Un autre défi est de déterminer comment maintenir et améliorer la qualité des semences, qui est souvent médiocre.

**Les banques de semences communautaires permettent de relever ces défis grâce à un accès à l'information et à un approvisionnement en semences de qualité, contribuant ainsi à une meilleure gestion de l'agrobiodiversité.** En outre, les banques de semences communautaires servent désormais de

plateforme pour le développement communautaire, contribuant ainsi à la sécurité alimentaire locale et à l'amélioration des moyens de subsistance. Elles ne sont plus seulement des centres de conservation mais sont aussi des coopératives semencières capables de commercialiser des semences locales de qualité (après sélection et amélioration végétale participative). Elles sont également devenues un agent de promotion des droits des agriculteurs, notamment de leur engagement dans les processus politiques, tout en satisfaisant le besoin d'une meilleure nutrition et en répondant à un large éventail d'objectifs communautaires. En Ouganda et au Kenya, de nouvelles banques de semences communautaires ont vu le jour et offrent la possibilité d'améliorer les moyens de subsistance, en plus de leur rôle habituel de conservation des semences. Les agriculteurs sont impliqués comme « scientifiques citoyens » dans la sélection des cultures et des variétés qui sont ensuite distribuées par les banques. Ces cultures et variétés sont faciles à échanger ou à vendre car elles sont déjà approuvées par les agriculteurs. De plus, les agriculteurs membres des banques de semences communautaires sont formés aux pratiques de gestion, à la nutrition et à la production de semences

afin de garantir une qualité élevée. Alors que les banques de semences communautaires étaient, à l'origine, au cœur des initiatives d'ONG, les gouvernements et les organismes internationaux, tels que le Global Crop Trust, la FAO et le Traité international sur les ressources phylogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture (Tirpaa), sont dorénavant intéressés pour les soutenir, en reconnaissance du rôle important qu'elles jouent dans le développement local. **Les banques de semences communautaires, en fournissant du matériel de plantation amélioré et un potentiel de renforcement des capacités, offrent une opportunité considérable de promotion des transitions agroécologiques.**

#### Contacts

Carlo Fadda (Alliance of Bioversity International and CIAT, CGIAR, Kenya), [c.fadda@cgiar.org](mailto:c.fadda@cgiar.org)

Ronnie Vernoooy (Alliance of Bioversity International and CIAT, CGIAR, Pays-Bas), [r.vernooy@cgiar.org](mailto:r.vernooy@cgiar.org)

Gloria Otieno (Alliance of Bioversity International and CIAT, CGIAR, Ouganda), [g.otieno@cgiar.org](mailto:g.otieno@cgiar.org)

#### Autres auteurs

Rose Nankya Paola De Santis, Devra I. Jarvis, Dejene K. Mengistu, Jai Rana et Devendra Gauchan (Alliance of Bioversity International and CIAT, Ouganda, Italie, Éthiopie, Inde et Népal respectivement)

John Mulumba Wasswa (Organisation nationale de recherche agricole, Plant Genetic Resource Center, Ouganda)

#### Plus d'informations

• Vernoooy R., Shrestha P., Sthapit B. (eds), 2015. *Community seed banks: origins, evolution and prospects. Issues in agricultural biodiversity*. Routledge, London, 270 p. [www.bioversityinternational.org/fileadmin/user\\_upload/Community\\_Seed\\_Banks.pdf](http://www.bioversityinternational.org/fileadmin/user_upload/Community_Seed_Banks.pdf)

• Vernoooy R., Sthapit B., Otieno G., Shrestha P., Gupta A., 2017. The roles of community seed banks in climate change adaptation. *Development in Practice*, 27(3): 316-327. doi: 10.1080/09614524.2017.129465



▲ Une banque de semences communautaire en Éthiopie. © C. Fadda

## La diversification et l'association de cultures pour accompagner la transition agroécologique

L'écologisation de l'agriculture, en remettant les processus écologiques au centre des dynamiques de production, génère un profond changement de paradigme. Il s'agit de dépasser une logique de maîtrise et de contrôle qui visait à s'affranchir des variabilités environnementales, pour développer des formes d'agricultures adaptées aux contextes pédoclimatiques locaux. La variabilité des conditions environnementales devient alors un élément central à valoriser. C'est dans ce contexte qu'émerge un nombre croissant de systèmes hautement diversifiés associant l'arbre fruitier aux légumes dans des formes d'agroforesterie appelées « vergers-maraîchers ». L'analyse des conséquences de cette diversification est essentielle.

Pour cela, la recherche s'associe avec des structures de conseil et d'accompagnement (Adaf\*, Grab\*\*, Civam\*\*\*) pour mieux comprendre le fonctionnement de ces systèmes. Les travaux réalisés proposent des cadres d'analyse pour mesurer et distinguer les effets de diversification en mosaïque (i.e. sans

interactions entre cultures) et d'association (avec interactions entre cultures) dans les systèmes mixtes. Ces travaux unifient la « théorie du portefeuille » (qui formalise l'effet de diversification sur le risque) et le concept de « surface équivalente assolée » (qui formalise l'effet d'association sur le rendement). **L'application de ce cadre à un corpus de publications scientifiques montre que les systèmes associés en horticulture sont plus performants qu'une approche en mosaïque, en termes de rendement et de risque.** Les applications de ces travaux peuvent aider à la conception de systèmes de culture innovants, en particulier à l'augmentation raisonnée de leur diversité. Elles peuvent aussi avoir des implications plus larges pour d'autres systèmes agricoles (céréales, élevage, etc.). Enfin, outre l'intérêt de ces systèmes du point de vue agronomique, une attention particulière doit être portée sur les conséquences d'une telle diversification sur la complexification de l'organisation du travail et des pratiques de gestion.

\* Association Drômoise d'Agroforesterie (France) : [www.adaf26.org](http://www.adaf26.org)  
 \*\* Structure de recherche appliquée en productions végétales et agriculture biologique (France) : [www.grab.fr](http://www.grab.fr)  
 \*\*\* Centres d'initiatives pour valoriser l'agriculture et le milieu rural (France) : [www.civampaca.org](http://www.civampaca.org)

### Contacts

Marc Tchamitchian (Écodéveloppement, INRAE, France), [marc.tchamitchian@inrae.fr](mailto:marc.tchamitchian@inrae.fr)

Rodolphe Sabatier (Écodéveloppement, INRAE, France), [rodolphe.sabatier@inrae.fr](mailto:rodolphe.sabatier@inrae.fr)

Raphaël Paut (Écodéveloppement, INRAE, France), [raphael.paut@inrae.fr](mailto:raphael.paut@inrae.fr)

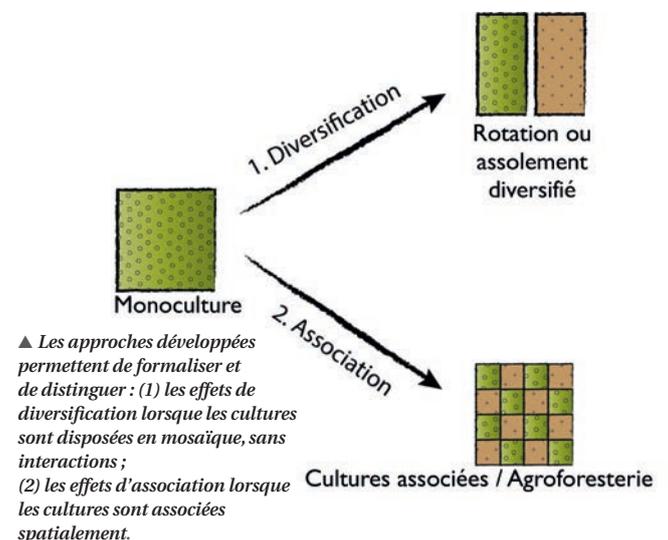
### Plus d'informations

• Paut R., Sabatier R., Tchamitchian M., 2020. Modelling crop diversification and association effects in agricultural systems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 288: 106711. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106711>

• Paut R., Sabatier R., Tchamitchian M., 2019. Reducing risk through crop diversification: an application of portfolio theory to diversified horticultural systems. *Agric. Syst.* 168: 123-130. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.11.002>



▲ Un exemple de verger-maraîcher, système associant arbres fruitiers et cultures maraîchères, dans le sud de la France. © R. Paut



## Bioturbation et services écosystémiques dans les agroécosystèmes

C'est le développement de nos connaissances scientifiques du fonctionnement écologique des sols qui a fait du ver de terre l'emblème de la santé et de la qualité des sols, et par voie de conséquence de l'agroécologie. Si l'aura du ver de terre est largement justifiée du fait de son importance sur le cycle des nutriments, la protection de la matière organique des sols, la circulation de l'eau ou encore la résistance des sols à l'érosion, l'effet de son homologue tropical, le termite, reste paradoxalement très peu étudié<sup>(1)</sup>. **Tout comme les vers de terre, les termites sont des acteurs à la fois discrets et majeurs des sols tropicaux en influençant leur fonctionnement à différentes échelles spatiales et temporelles emboîtées.** En enrichissant les sols en argile et parfois en matière organique ou encore en silice biodisponible pour les plantes<sup>(2)</sup>, c'est la fertilité des sols qu'ils améliorent. Vivant principalement dans les sols, ils jouent le même rôle que les vers de terre en produisant des réseaux de galeries et des loges permettant une augmentation de la conductivité hydraulique et de la capacité de rétention en eau des sols<sup>(3)</sup>. Leur effet le plus important réside

néanmoins dans leur capacité à produire des termitières ou buttes termitiques structurant les paysages agricoles en Asie du Sud-Est qui, en hébergeant une faune et une flore spécifique<sup>(4)</sup>, apparaissent comme des îlots de fertilité et de biodiversité dans les agrosystèmes, fournissant une diversité de services écosystémiques tels que constituer un refuge pour la biodiversité, améliorer la productivité végétale et contribuer à la diversité alimentaire ou la santé des populations locales.



▲ Buttes termitiques recouvertes de végétation apparaissant comme des îlots de fertilité et de biodiversité dans les rizières. Cambodge, 2007. © P. Jouquet

### Contacts

Pascal Jouquet (iEES, IRD, France), [pascal.jouquet@ird.fr](mailto:pascal.jouquet@ird.fr)

Yannak Ann (Institut de Technologie du Cambodge, ITC), [ann.v@itc.edu.kh](mailto:ann.v@itc.edu.kh)

Chutin Choochai (Université de Khon Kaen, KKU, Thaïlande), [chuchoo@kku.ac.th](mailto:chuchoo@kku.ac.th)

### Plus d'informations

(1) Jouquet P., Traoré S., Harit A., Choochai C., Cheik S., Bottinelli N., 2020. Moving beyond the distinction between the bright and dark sides of termites to achieve the sustainable development goals. *Current Opinion in Insect Science, special issue Insects and Sustainable Development Goals*, 40: 71-76. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2020.05.010>

(2) Jouquet P., Jamoteau F., Majumdar S., Podwokowski P., Nagabovanalli P., Caner L., Bardoni D., Meunier J.-D., 2020. The distribution of Silicon in soil is influenced by termite bioturbation in South Indian forest soils. *Geoderma*, 372: 114362. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114362>

(3) Cheik S., Bottinelli N., Tran M.T., Doan, T.T., Jouquet P., 2019. Quantification of three dimensional characteristics of macrofauna macropores and their effects on soil hydraulic conductivity in northern Vietnam. *Frontiers in Environmental Science*, 7 (31) <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00031>

(4) Choochai C., Mathieu J., Hanboonsong Y., Jouquet P., 2009. Termite mounds and dykes are biodiversity refuges in paddy fields in north-eastern Thailand. *Environmental Conservation*, 36(1): 71-79. <https://doi.org/10.1017/S0376892909005475>

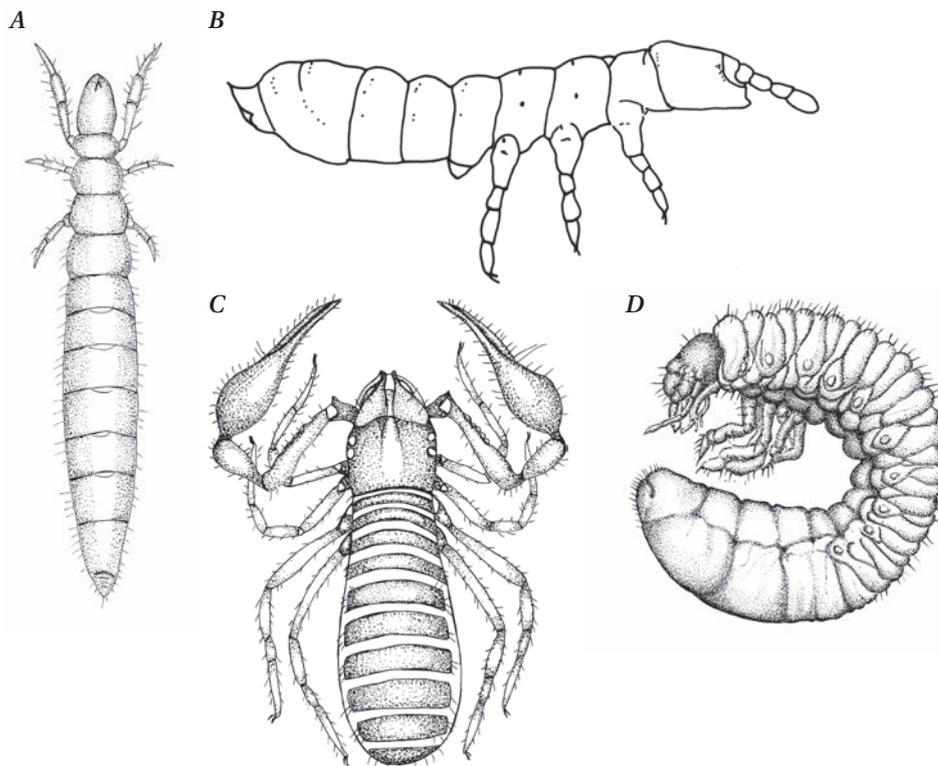
# Le rôle des arthropodes du sol pour évaluer la santé des sols

La quantification de la santé des sols est encore dominée par les indicateurs chimiques, malgré la reconnaissance croissante de l'importance de la biodiversité des sols, comme souligné par les récentes recommandations de la Commission européenne qui préconisent d'inclure la biodiversité des sols comme indicateur de santé des sols. Les arthropodes du sol participent à la décomposition et au transfert de la matière organique, au cycle des nutriments, à l'amélioration de la structure du sol et à la régulation de l'eau. Ils jouent ainsi un rôle clé dans le maintien de la santé des sols des agroécosystèmes. Les pratiques agricoles conventionnelles augmentent l'érosion, le compactage et la pollution des sols, alors que les pratiques agroécologiques, telles que le travail du

sol minimum ou le non travail du sol, la fertilisation organique et la diversification des systèmes de culture (c.-à-d. un allongement des rotations), ont prouvé qu'elles amélioreraient la stabilisation des agrégats de matière organique du sol, la rétention des nutriments et l'infiltration de l'eau, tout en ayant des effets positifs sur la biomasse microbienne du sol et les communautés d'arthropodes<sup>(1)</sup>.

Plusieurs groupes d'arthropodes du sol servent à surveiller la santé des sols, étant donné leur degré extrême d'adaptation à des conditions de sol spécifiques. Ils se caractérisent par une pigmentation et un appareil visuel réduits (ou inexistant), une forme corporelle épurée avec des appendices réduits et plus compacts (poils,

antennes, pattes), des adaptations réduites pour sauter, courir et voler, une cuticule plus fine, etc. **La présence de ces caractéristiques écomorphologiques est utilisée pour calculer l'indice synthétique QBS-ar, un indice de qualité biologique du sol fondé sur les populations d'arthropodes<sup>(2,4)</sup>.** Cet indice, basé sur les caractéristiques édaphiques, est un outil efficace pour quantifier les impacts d'événements climatiques extrêmes<sup>(1)</sup>, les changements d'utilisation des terres<sup>(2)</sup> et certaines pratiques de gestion, telles que l'absence de travail du sol et l'utilisation de cultures de couverture<sup>(3)</sup>. L'indice est représentatif de l'ensemble de la communauté des arthropodes du sol et il est pertinent pour identifier de mauvaises conditions de santé des sols.



## ▲ Exemples d'arthropodes du sol utilisés dans l'indice QBS-ar. © C. Menta

A. Les proturans sont de petits hexapodes primitifs (0,5-2,5 mm) vivant dans le sol, sans antennes, ailes ou yeux. Ils font généralement partie de la communauté des décomposeurs et se nourrissent principalement d'hyphes fongiques. Ils sont également des proies importantes pour de petits prédateurs, tels que les araignées, les acariens et les pseudoscorpions.

B. Les collemboles sont de petits hexapodes sans ailes (0,12-17 mm) qui se nourrissent principalement de champignons, de bactéries et de matières végétales en décomposition. Cependant, certaines espèces sont des prédateurs, se nourrissant de nématodes ou d'autres collemboles. Ils sont responsables jusqu'à 30 % de la respiration totale des invertébrés du sol selon l'habitat.

C. Les pseudoscorpions sont des arachnides minuscules (moins de 5 mm de long) connus sous le nom de « faux scorpions » car ils ressemblent à des scorpions mais ne possèdent pas de métasoma (« queue ») ni de dard venimeux. Ils vivent sous les écorces et les pierres, dans la litière de feuilles, les grottes et le sol, et s'attaquent à différentes espèces de parasites.

D. Les larves de scarabées, comme de nombreuses autres larves d'insectes, ont subi de multiples adaptations pour vivre dans le sol. Contrairement aux formes adultes, la niche trophique de ces larves est complètement dépendante de l'habitat du sol.

## Contacts

Francesca Beggi (Alliance of Bioversity International and CIAT, CGIAR, Inde), f.beggi@cgiar.org

Cristina Menta (Université de Parme, Italie), cristina.menta@unipr.it

## Plus d'informations

(1) Lakshmi G., Beggi F., Menta C., Kumar N.K., Jayesh P., 2021. Dynamics of soil microarthropod populations affected by a combination of extreme climatic events in tropical home gardens of Kerala, India. *Pedobiologia*, <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2021.1150719>

(2) Menta C., Conti F.D., Pinto S., Bodini A., 2018. Soil Biological Quality index (QBS-ar): 15 years of application at global scale. *Ecol. Indic.*, 85: 773-780. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.11.030>

(3) Menta C., Conti F.D., Lozano Fondón C., Staffilani F., Remelli S., 2020. Soil arthropod responses in agroecosystem: implications of different management and cropping systems. *Agronomy*, 10: 982. <https://doi.org/10.3390/agronomy10070982>

(4) Parisi V., Menta C., Gardi C., Jacomini C., Mozzanica E., 2005. Microarthropod communities as a tool to assess soil quality and biodiversity: a new approach in Italy. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 105: 323-333. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.02.002>

# Des méthodes et des outils pour améliorer les pratiques agricoles et la gestion du paysage



## Gestion intégrée de la fertilité des sols

*Maximiser l'efficacité de l'utilisation des engrais pour une intensification durable de la petite agriculture en Afrique subsaharienne*

L'intensification de l'agriculture des petits exploitants en Afrique subsaharienne est nécessaire pour lutter contre la pauvreté en milieu rural et la dégradation des ressources naturelles. Une intensification durable correspond à une conduite des systèmes agricoles avec des rendements accrus et moins variables, et une meilleure santé des sols. La gestion intégrée de la fertilité des sols (GIFS) vise à augmenter le rendement des cultures tout en maximisant l'efficacité agronomique (EA) des intrants appliqués. **La GIFS consiste en un ensemble de bonnes pratiques, notamment l'utilisation d'un matériel génétique adapté, l'utilisation limitée d'engrais et de ressources biologiques, et des bonnes pratiques agronomiques** (figure). À l'échelle de la parcelle, « l'adaptation locale » (figure) fait référence au besoin d'amendements supplémentaires du sol ou de gestion pour lutter contre certaines contraintes secondaires s'opposant à la maximisation de l'EA, notamment l'acidité des sols, les carences en micronutriments ou la formation de cuirasses. À l'échelle de l'exploitation, l'adaptation des apports d'engrais à la fertilité des sols de l'exploitation agricole peut renforcer l'EA, par comparaison à des recommandations générales, en particulier dans des contextes où la variabilité de la fertilité des sols est élevée.

Des récents articles ont confirmé que l'apport combiné d'engrais et d'intrants biologiques se traduit généralement par des rendements plus élevés et plus stables et une efficacité agronomique accrue, mais pas forcément par des stocks de carbone organique du sol plus élevé. C'est par exemple le cas des rotations légumineuses-céréales à double usage, avec des apports d'engrais spécifiques aux cultures, du microdosage d'engrais combiné à des collectes d'eau et des apports de fumier, ou encore des configurations alternatives de cultures intercalaires manioc-légumineuses avec des apports d'engrais spécifiques au site. Bien que la GIFS ne vise pas l'élimination totale des apports externes de nutriments – ce qui serait irréaliste si l'on veut réduire les écarts de rendement dans les systèmes agricoles africains –, elle est entièrement alignée avec les niveaux 1 (efficacité de l'utilisation des intrants) et 2 (substitution des intrants conventionnels) de la transition vers des systèmes alimentaires durables, et en partie avec le niveau 3 (reconception des agroécosystèmes) grâce à l'accent mis sur l'intégration des légumineuses fixatrices d'azote dans les systèmes agricoles. L'article explore également comment la GIFS s'accorde avec les 10 éléments de l'agroécologie récemment définis par la FAO.

### Contact

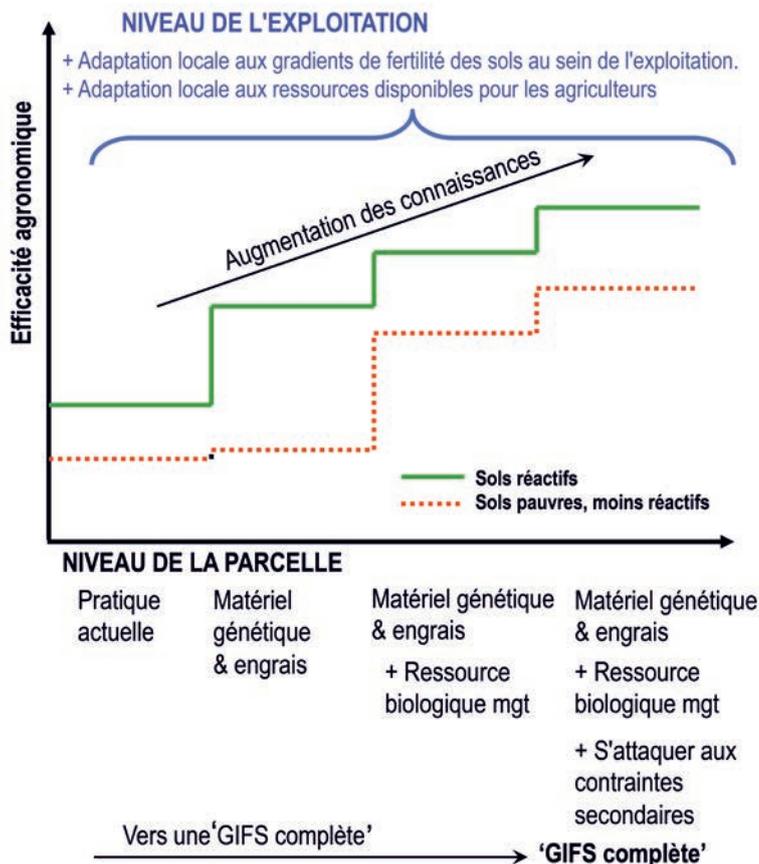
Bernard Vanlauwe (IITA, CGIAR, Kenya),  
b.vanlauwe@cgiar.org

### Autres auteurs

Theresa Ampadu-Boaky, Meklit Chernet, Danny Coyne, Generose Nziguheba, Pieter Pypers, Richard Asare, Freddy Baijukya, Mateete Bekunda, Stefan Hauser, Huisung Jeroen, Alpha Kamara, Christine Kreye, Kokou Kintche, Leon Nabahungu, Rhys Manners, Cargele Masso, Patrick Mutuo et Godfrey Taulya (IITA, Kenya, Ghana, Tanzanie, Tanzanie, Nigeria, République démocratique du Congo, Rwanda, Cameroun, Burundi et Ouganda respectivement)

### Plus d'informations

- Vanlauwe B., Bationo A., Chianu J., Giller K.E., Merckx R., Mokwunye U., Ohiokepehai O., Pypers P., Tabo R., Shepherd K., Smaling E., Woomer P.L., Sanginga N., 2010. Integrated soil fertility management: operational definition and consequences for implementation and dissemination. *Outlook on Agriculture*, 39: 17-24.
- Vanlauwe B., Descheemaeker K., Giller K.E., Huisung J., Merckx R., Nziguheba G., Wendt J., Zingore S., 2015. Integrated soil fertility management in sub-Saharan Africa: Unravelling local adaptation. *SOIL*, 1: 491-508.
- Vanlauwe B., Hungria M., Kanampiu F., Giller K.E., 2019. The role of legumes in the sustainable intensification of African smallholder agriculture: myths, lessons, and challenges for the future. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, In Press.



◀ Relation conceptuelle entre l'efficacité agronomique (EA) des engrais et des ressources biologiques et la mise en œuvre de diverses composantes de la GIFS, aboutissant à une GIFS complète (à droite du graphique).

On distingue les sols qui réagissent bien aux engrais de type NPK de ceux qui sont pauvres et moins réactifs. L'étape « pratique actuelle » suppose l'utilisation du taux moyen actuel d'engrais en Afrique subsaharienne, soit 8 kg de fertilisants par hectare. La figure distingue également les interventions « d'adaptation locale » aux niveaux des parcelles et des exploitations.

D'après Vanlauwe et al. (2015)

# L'apprentissage comme première étape vers l'agroécologie

Des stratégies efficaces d'irrigation réduisent les pertes de nutriments et augmentent les rendements

Dans les systèmes agricoles complexes, comme l'agriculture irriguée, les interventions réalisées à un endroit peuvent avoir des conséquences négatives et inattendues ailleurs. Les principes de l'agroécologie reposent sur la compréhension de l'écologie et sur la minimisation des impacts des stratégies de gestion. De nombreux agriculteurs n'ont pas accès à la formation formelle, de sorte que l'apprentissage constitue un facteur clé lorsqu'il s'agit de mesurer le retour d'expérience sur des actions spécifiques de gestion. La réussite de l'agriculture irriguée repose sur le fait de savoir quand et jusqu'à quel point il faut irriguer. Le projet TISA\* a diffusé des outils capables de créer un système d'apprentissage pour répondre à ces questions. Le « Caméléon » est un instrument portatif qui mesure l'humidité du sol à trois profondeurs différentes. La valeur de cet outil réside dans la simplicité de son interface utilisateur. Trois LED - une par profondeur, émettant chacune trois couleurs, rouge, vert, bleu - informent en temps réel sur le niveau d'humidité du sol (sec, humide ou trempé). Une paire de détecteurs, installés dans la zone racinaire et au-delà, indique la profondeur du front d'humectation pendant l'irrigation. Un

signal s'allume lorsque l'entonnoir situé dans la partie inférieure de l'instrument est rempli d'eau ; une fois l'entonnoir extrait, il est alors possible de déterminer les niveaux de nitrate et la salinité de l'eau. L'objectif est d'atteindre des niveaux élevés de nitrates dans la zone racinaire ; des niveaux élevés au-delà de cette zone indiqueraient par contre un lessivage des nutriments. **Les données fournies par ces instruments améliorent la gestion de l'eau et des nutriments du sol, tout en offrant des possibilités d'apprentissage.** En effet, le personnel du projet TISA n'est jamais intervenu pour aider les agriculteurs à prendre des décisions ; ces derniers ont expérimenté et affiné les représentations mentales de leurs systèmes, afin que les nutriments restent dans la zone racinaire grâce à la gestion de la fréquence et de la quantité d'eau appliquée. La productivité de l'eau a augmenté de plus de 100 %, et l'apprentissage entre agriculteurs a eu un impact encore plus important que la possession de l'instrument lui-même. Enfin, l'apprentissage à un niveau plus élevé a permis aux conseillers techniques et aux acteurs de la gouvernance de faciliter un changement institutionnel profond.

\* Projet TISA, Transforming Irrigation in Southern Africa

## Contact

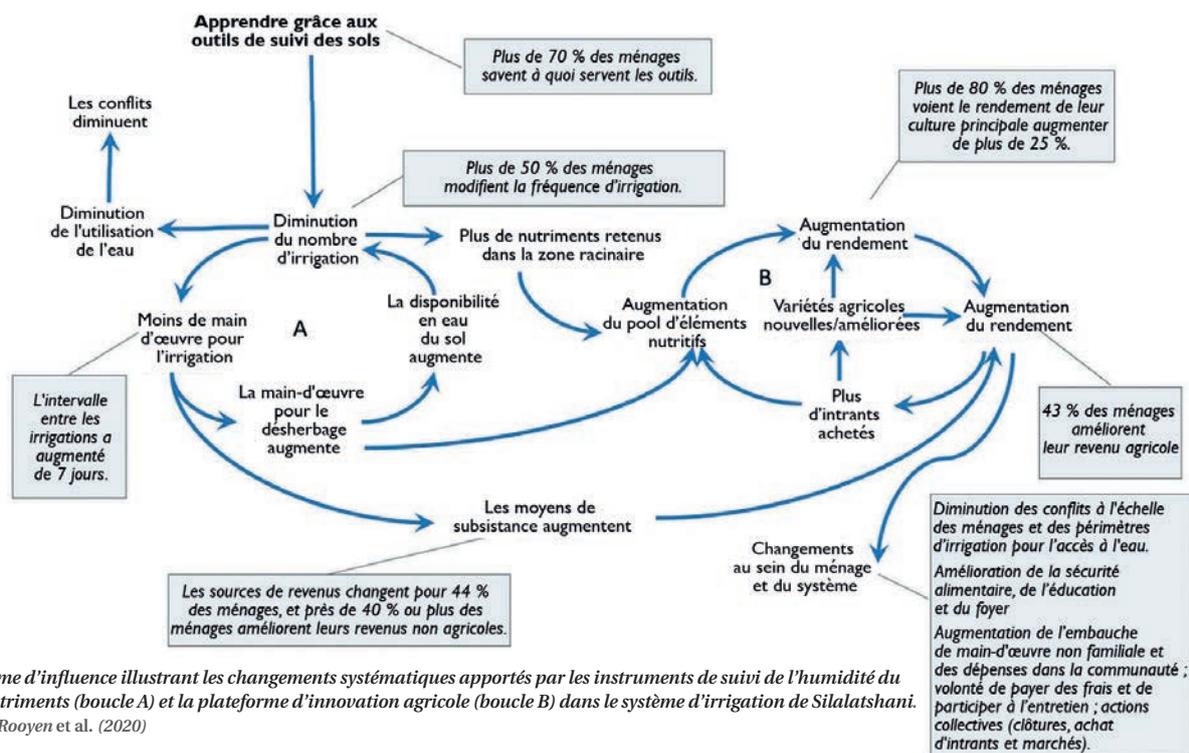
André van Rooyen (ICRISAT, CGIAR, Éthiopie),  
a.vanrooyen@cgiar.org

## Plus d'informations

• Moyo M., Van Rooyen A., Bjornlund H., Parry K., Stirzaker R., Dube T., Maya M., 2020. The dynamics between irrigation frequency and soil nutrient management: transitioning smallholder irrigation towards more profitable and sustainable systems in Zimbabwe. *International Journal of Water Resources Development*, 36(sup1): S102–S126.  
<https://doi.org/10.1080/07900627.2020.1739513>

• Parry K., van Rooyen A.F., Bjornlund H., Kissoly L., Moyo M., de Sousa W., 2020. The importance of learning processes in transitioning small-scale irrigation schemes. *International Journal of Water Resources Development*, 36(sup1): S199–S223.  
<https://doi.org/10.1080/07900627.2020.1767542>

• Van Rooyen A.F., Moyo M., Bjornlund H., Dube T., Parry K., Stirzaker R., 2020. Identifying leverage points to transition dysfunctional irrigation schemes towards complex adaptive systems. *International Journal of Water Resources Development*, 00(sup1), 1–28.  
<https://doi.org/10.1080/07900627.2020.1747409>



▲ Diagramme d'influence illustrant les changements systématiques apportés par les instruments de suivi de l'humidité du sol et des nutriments (boucle A) et la plateforme d'innovation agricole (boucle B) dans le système d'irrigation de Silalatshani. D'après van Rooyen et al. (2020)

▼ Gauche : démonstration de l'utilisation du « Caméléon » pour déterminer l'humidité du sol à trois profondeurs différentes.  
 ▼ Droite : utilisation de bandelettes pour déterminer la concentration du nitrate. © van Rooyen



# Diversité pour la restauration

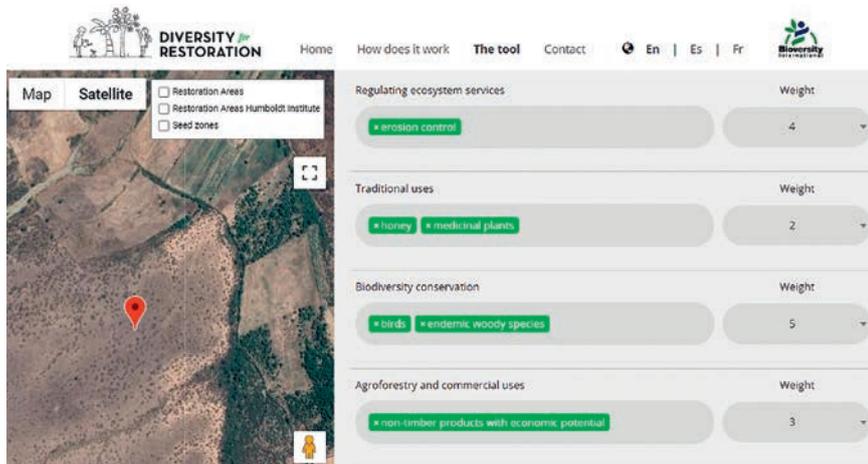
Un outil pour aider à sélectionner les espèces d'arbres et les sources de semences pour restaurer les paysages forestiers tropicaux

**A** lors que la pression humaine sur les écosystèmes terrestres est sans précédent, la restauration des paysages forestiers dégradés est considérée comme essentielle pour surmonter les défis environnementaux et socio-économiques mondiaux. De nombreux pays dans le monde se fixent des objectifs de restauration ambitieux. Une planification minutieuse est toutefois nécessaire pour tenir ces engagements et parvenir à des paysages restaurés réussis. Un point essentiel du succès à long terme des initiatives de restauration est la sélection d'espèces d'arbres et de sources de semences qui soient adaptées aux conditions du site à restaurer et répondant aux objectifs de restauration. L'outil en ligne « Diversité pour la restauration »\*, facile d'utilisation, a été conçu pour aider les décideurs et les spécialistes de la restauration à faire cette sélection. **Selon l'emplacement du site de plantation, des**

**conditions du site à restaurer et des objectifs de restauration (fig. A), l'utilisateur obtient des recommandations sur les combinaisons d'espèces à planter, des conseils pour se fournir en semences et comment propager les espèces.** L'outil a été développé initialement pour les forêts tropicales sèches de Colombie, mais il a été étendu aux forêts tropicales sèches du nord-ouest du Pérou, du sud de l'Équateur et du Burkina Faso ; d'autres développements sont en cours. En s'appuyant sur la littérature et les connaissances traditionnelles, l'outil intègre (i) des cartes des habitats appropriés aux espèces dans les conditions climatiques actuelles et futures ; (ii) des données sur les traits fonctionnels, des connaissances écologiques locales et autres caractéristiques pertinentes des espèces d'arbres, comme leur statut de conservation, afin de sélectionner les espèces adaptées aux conditions locales du site à

restaurer et aux objectifs de restauration ; (iii) une méthode d'optimisation de la diversité des traits fonctionnels ou de la diversité phylogénétique afin de favoriser les complémentarités ; et (iv) la création de cartes de zones de semences (fig. B) afin d'aider à s'approvisionner en matériel de plantation adapté aux conditions environnementales actuelles et futures. En reconnaissant que l'importance et les objectifs de la restauration sont très variés, **cet outil est destiné à aider la prise de décision de toute personne intéressée par la restauration à base d'arbres des paysages forestiers tropicaux, quel qu'en soit le but ; il favorise la réalisation d'objectifs multiples via des combinaisons optimales des traits d'espèces.**

\* D4R : [www.diversityforrestoration.org/fr/index.php](http://www.diversityforrestoration.org/fr/index.php)



◀ **Figure A.** Interface utilisateur de l'outil « Diversité pour la restauration », montrant la sélection du site de restauration sur la carte (à gauche) et la sélection des objectifs de restauration prioritaires avec leur pondération (à droite). Les autres entrées utilisateur (non visibles ici) incluent les conditions de restauration du site (par exemple des sols compactés ou des pentes raides), le nombre d'espèces à planter et le scénario de changement climatique à prendre en compte.

## Contacts

Tobias Fremout (Alliance of Bioversity International and CIAT, CGIAR, Belgique/Université catholique de Louvain, Belgique), [t.fremout@cgiar.org](mailto:t.fremout@cgiar.org)

Barbara Vinceti (Alliance of Bioversity International and CIAT, CGIAR, Italie), [b.vinceti@cgiar.org](mailto:b.vinceti@cgiar.org)

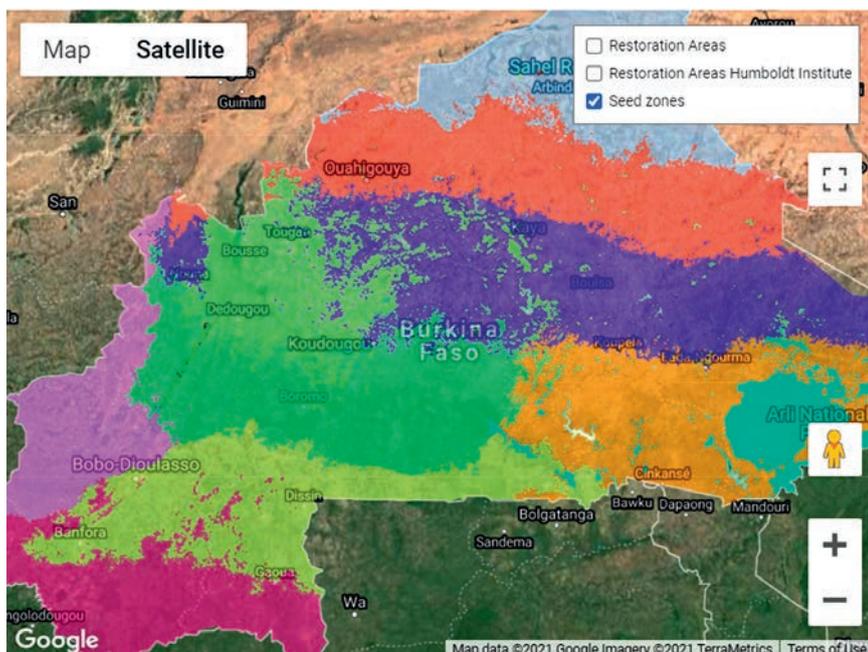
Evert Thomas (Alliance of Bioversity International and CIAT, CGIAR, Pérou), [e.thomas@cgiar.org](mailto:e.thomas@cgiar.org)

## Autre auteur

Marius Ekue (Alliance of Bioversity International and CIAT, CGIAR, Cameroun)

## Plus d'informations

- Thomas E., Alcazar C., Moscoso L.G.H., Vasquez A., Osorio L.F., Salgado-Negret B., Gonzalez M., Bozzano M., Loo J., Jalonen R., Ramirez W., 2017. The importance of species selection and seed sourcing in forest restoration for enhancing adaptive potential to climate change: Colombian tropical dry forest as a model. *CBD Technical Series: Biodiversity and Climate Change*: 122-132.
- Fremout, T., Gutierrez-Miranda C.E., Briers S., Marcelo-Peña J.L., Cueva-Ortiz E., Linares-Palomino R., La Torre-Cuadros M., de los Á., Chang-Ruiz J.C., Villegas-Gómez T.L., Acosta-Florta A.H., Plouvier D., Atkinson R., Charcape- Ravelo M., Aguirre-Mendoza Z., Muys B., Thomas E., 2021. The value of local ecological knowledge to guide tree species selection in tropical dry forest restoration. *Restoration Ecology*: e13347.
- Fremout T., Thomas E., Bocanegra-González K., Aguirre-Morales C.A., Morillo-Paz A.T., Atkinson R., Kettle C., González-M R., Alcázar-Cañedo C., González M.A., Gil-Tobón C., Gutiérrez J.P., Moscoso-Higueta L.G., Becerrá Lopez-Lavalle L.A., de Carvalho D., Muys B., 2021. Dynamic seed zones to guide climate-smart seed sourcing for tropical dry forest restoration in Colombia. *Forest Ecology and Management*, 490: 119127.
- Fremout T., Thomas E., Taedoung H., Briers S., Gutiérrez-Miranda C.E., Alcázar Caicedo C., Lindau A., Mounmeme Kpoumie H., Vinceti B., Kettle C., Ekué M., Atkinson R., Jalonen R., Gaisberger H., Elliott S., Brechbühler E., Ceccarelli V., Krishnan S., Vacik H., Wiederkehr Guerra G., Salgado Negret B., González M.A., Ramirez W., Moscoso Higueta L.G., Vasquez Á., Cerrón J., Maycock C., Muys B., 2021. Diversity for Restoration (D4R): guiding the selection of tree species and seed sources for climate resilient restoration of tropical forest landscapes. *J. Appl. Ecol.* <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14079>



▲ **Figure B.** Interface utilisateur de l'outil « Diversité pour la restauration » : carte des zones de semences au Burkina Faso. Les zones de semences sont des zones géographiques au sein desquelles les semences peuvent être déplacées avec un risque faible de mauvaise adaptation et de perturbation de la structure génétique des populations. Pour augmenter la probabilité que le matériel de plantation soit bien adapté aux conditions climatiques actuelles et futures, l'outil génère des projections de zones de semences basées sur les futures conditions climatiques prévues. Il recommande ensuite de se procurer 50 % des semences dans la zone de semence actuelle (illustrée ici) et 50 % dans les zones de semence futures, prévues dans les différents modèles climatiques mondiaux.

# Accompagner les acteurs ruraux dans la transition agroécologique

## Une approche par les jeux de rôles

Les chemins qui mènent à la transition agroécologique sont sinueux, spécifiques au contexte, et font rarement l'objet d'un consensus évident entre parties prenantes. Au-delà de l'adoption de pratiques agroécologiques individuelles, la recherche de compromis entre acteurs aux intérêts divergents est requise pour construire des paysages plus durables. Dans cette perspective, les approches d'accompagnement, dont l'évaluation participative des services écosystémiques (SE), facilitent les échanges fructueux entre acteurs et aident à dépasser la simple confrontation des visions<sup>(1)</sup>. Nos recherches mobilisent dans différentes régions du monde, des démarches de modélisation d'accompagnement (ComMod) permettant aux acteurs de débattre des options et incertitudes relatifs à l'usage, au maintien ou aux compromis entre SE dans des paysages agroforestiers, par exemple entre production d'aliments, préservation de la biodiversité, stockage du carbone et présence d'insectes pollinisateurs. Trois étapes clés guident ces démarches :

- **Quels SE ?** Les acteurs définissent la situation à considérer et priorisent les SE attribués aux différentes pratiques et usages des terres (e.g. abattis-brûlis, cultures de rente, systèmes agroforestiers, préservation d'espaces naturels), au cours d'entretiens individuels<sup>(2,4)</sup> ou d'ateliers collectifs<sup>(3,4)</sup>.

- **Quel impact des pratiques sur les SE ?** Des indicateurs sont co-construits et servent à mettre au point des jeux de rôle qui permettent aux acteurs d'explorer et de comparer, sur quelques années, les contraintes et l'impact de différentes pratiques à l'échelle des propriétés agricoles, villages ou paysages<sup>(3,4)</sup>.

- **Quels compromis entre SE ?** Les trajectoires identifiées lors des jeux sont simulées sur 10 ou 20 ans grâce à un modèle informatique pour évaluer l'impact sur le temps long des compromis entre différents SE en lien avec le bien-être<sup>(3,4)</sup>. Ayant participé pas-à-pas à la négociation des compromis, les acteurs impliqués sont plus à même de percevoir comment leurs pratiques déterminent les dynamiques de paysages simulées.

**À travers ces démarches participatives et l'exploration de scénarios de transformation des pratiques individuelles et collectives, les acteurs s'engagent dans le partage de connaissances et renforcent leur compréhension des liens entre usages des ressources et SE.** En cela, ils contribuent, avec les chercheurs, à définir des actions à entreprendre pour instaurer des socio-écosystèmes agroécologiques, durables et équitables.

### Contacts

Émilie Coudel (Sens, Cirad, France), emilie.coudel@cirad.fr

Jean-Christophe Castella (Sens, IRD, France), j.castella@ird.fr

Julien Blanco (Sens, IRD, France), julien.blanco@ird.fr

### Autres auteurs

Gabriel Resque (Université Fédérale Rurale d'Amazonie, Brésil)

Christophe Le Page (Sens, Cirad, France)

Martine Antona (Sens, Cirad, France)

### Plus d'informations

(1) Barnaud C., Corbera E., Muradian R., Salliou N., Sirami C., Vialatte A., Choisis J.-P., Dendoncker N., Mathevet R., Moreau C., Reyes-García V., Boada M., Deconchat M., Cibien C., Garnier S., Maneja R., Antona M., 2018. Ecosystem services, social interdependencies, and collective action: a conceptual framework. *Ecology and Society*, 23(1): 15. <https://doi.org/10.5751/>

(2) Blanco J., Sourdril A., Deconchat M., Barnaud C., San Cristobal M., Andrieu E., 2020. How farmers feel about trees: perceptions of ecosystem services and disservices associated with rural forests in southwestern France. *Ecosystem Services*, 42: 101066.

(3) Castella J.C., Lestrelin G., 2021. Explorer l'impact environnemental des transformations agraires en Asie du Sud-Est grâce à l'évaluation participative des services écosystémiques. *Cahiers Agricultures*, 200088. doi: 10.1051/cagri/2020042

(4) Resque G., Perrier E., Coudel E., Braga L. Fontes V., Carneiro R., Navegantes L., Le Page C., 2021. Discussing ecosystem services in management of agroecosystems: a role playing game in the eastern Brazilian Amazon. *Agroforestry systems*. doi:10.1007/s10457-021-00633-7



▲ Jeu sur la restauration forestière en Amazonie brésilienne. © K. Naudin, projet ReFloramaz, 2018

# Des méthodes et des outils d'évaluation et d'apprentissage pour transformer les agroécosystèmes



## Co-construire de nouveaux modes d'organisation pour favoriser l'accès à l'agrobiodiversité

Un enjeu clé pour la transition agroécologique



▲ Restitution du projet CoEx (Gouvernance adaptative de la coexistence des systèmes de gestion de la diversité) à Niakhar, Sénégal. © V. Labeyrie/Cirad



▲ Semences de pois de terre, Ethiolo, Sénégal. © V. Labeyrie/Cirad

Favoriser l'accès des paysans à une diversité de ressources génétiques et aux connaissances associées est un enjeu majeur de la transition agroécologique. Les modèles agricoles actuels privilégient la centralisation de la production et de la circulation de ces ressources. Ils montrent cependant leurs limites pour faire face aux changements globaux car ils ne soutiennent pas la résilience des systèmes agricoles. C'est pourquoi il est urgent de caractériser la pluralité des modes de gestion paysans de l'agrobiodiversité et de comprendre leur impact sur sa disponibilité, afin de co-construire de nouveaux modes de gestion adaptés à chaque contexte et répondant aux changements en cours.

### Contacts

Vanesse Labeyrie (Sens, Cirad, France),  
vanesse.labeyrie@cirad.fr

Mathieu Thomas (Sens, Cirad, France),  
mathieu.thomas@cirad.fr

Didier Bazile (Sens, Cirad, France), didier.bazile@cirad.fr

Pour cela, un premier enjeu est d'élaborer un cadre conceptuel et méthodologique unificateur permettant de comprendre (i) en quoi la diversité des acteurs et la structuration de leurs interactions affectent les dynamiques de l'agrobiodiversité, et (ii) quelles sont leurs implications sur la capacité des agriculteurs à la mobiliser. Pour cela, le cadre théorique des réseaux sociaux-écologiques est pertinent<sup>(1)</sup>. Un second enjeu est de développer des méthodes de co-construction adaptées et la modélisation ouvre alors des perspectives prometteuses. Par exemple, pour accompagner des paysans ouest-africains dans leur réflexion sur la mise en place de nouvelles institutions de gestion de l'agrobiodiversité, le couplage de

### Plus d'informations

(1) Labeyrie V., Antona M., Baudry J., Bazile D., Bodin Ö., Caillon S., Leclerc C., Le Page C., Louafi S., Mariel J., Massol F., Thomas M., 2021. Networking agrobiodiversity management to foster biodiversity-based agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 41 (1): 1-15.

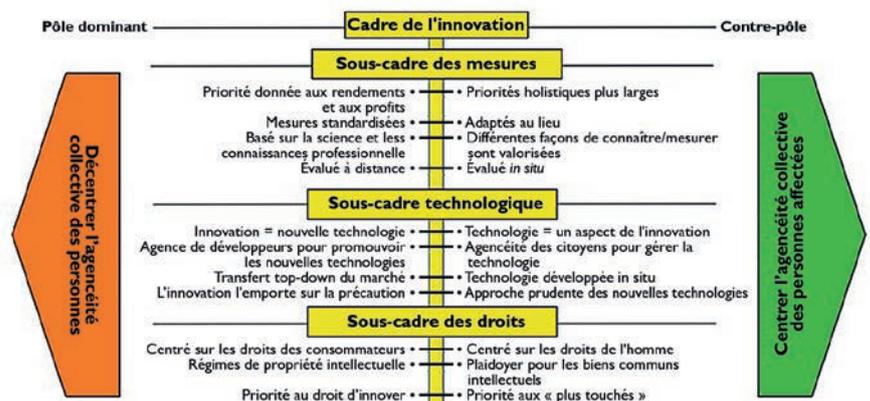
jeux de rôle à des systèmes multi-agents aide à discuter collectivement de plusieurs scénarios pour sécuriser leur approvisionnement en semences et pérenniser une conservation dynamique des variétés locales<sup>(2)</sup>. Le couplage de ce type d'approches avec des modèles de génétique élargit encore les perspectives. Ainsi, une collaboration en cours avec un collectif d'une vingtaine d'artisans-semenciers français et deux laboratoires de génétique\* vise à co-construire et à évaluer avec différents scénarios les conséquences potentielles d'un changement d'organisation sur le niveau de diversité génétique gérée. Ces expériences avec les réseaux locaux ouvrent des pistes intéressantes pour co-construire de nouveaux modes de gestion de l'agrobiodiversité.

\* UMR « Génétique quantitative et évolution-Le Moulon » et Agap (France).

(2) Belem M., Bazile D., Coulibaly H., 2018. Simulating the impacts of climate variability and change on crop varietal diversity in Mali (West-Africa) using agent-based modeling approach. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 21 (2): 8. <https://doi.org/10.18564/jasss.3690>

## Les principes agroécologiques comme guides pour la conception

L'histoire de l'agroécologie est ancienne. Elle a fait l'objet récemment de beaucoup d'attention du fait qu'elle vise à répondre simultanément à des enjeux de production et de nutrition, des considérations sociales et environnementales en lien avec la durabilité de l'agriculture et des systèmes alimentaires. Elle est à la fois une science, une pratique et un mouvement social ; elle a été définie de multiples façons, donnant ainsi naissance au concept « d'agroécologies multiples ». Pour naviguer dans un tel espace complexe et capable d'adaptation, des principes sont nécessaires, définis comme des « affirmations fournissant des orientations sur la façon d'agir en vue d'un résultat souhaité ». Un ensemble consolidé de 13 principes agroécologiques a été proposé<sup>(1)</sup>. Cependant, l'agroécologie ayant des sens multiples, il est rare que ces principes soient tous suivis avec la même intensité, ce qui soulève des questions : est-il nécessaire de suivre tous ces principes pour prétendre qu'une initiative soit « agroécologique » ; la violation de l'un d'entre eux la rend-elle « non agroécologique » ?



▲ Les sous-cadres d'innovation incluent à la fois un « contre-pôle » qui centre l'action collective des individus et un pôle dominant qui décentre cette action collective. © 2021 Anderson et Maughan

Où peut-on considérer en respecter seulement l'un ou l'autre, pour être « plus ou moins agro-écologique », tout en respectant la direction de transitions agroécologiques qui font évoluer les systèmes vers plus d'équité et de durabilité ? Ces principes s'accompagnent de « contre-principes » qui décrivent des actions ou des comportements alternatifs. Expliciter ces contre-principes permet de mettre en évidence les décisions qui doivent être prises sur la base des valeurs ou des croyances. Le rapport sur l'agroécologie du HLPE<sup>(2)</sup> distingue des principes normatifs et des principes causaux, et présente des contre-principes. Principes et contre-principes représentent deux « pôles » opposés d'agencité\*. Le positionnement d'une partie prenante entre ces deux pôles influence le cadre d'innovation et donc les résultats (figure page précédente)<sup>(3)</sup>. Un récent cadre d'analyse des projets de développement agroécologique propose

21 principes - écologiques, socio-écologiques, politiques et méthodologiques - et souligne la manière dont ils s'appliquent à différentes échelles<sup>(4)</sup>. Dans un processus d'innovation et de développement à une échelle donnée, les principes employés peuvent ainsi être explicités. **Lorsque les institutions et leurs plateformes ou projets d'innovation clarifient de telles positions, cela guide la conception et permet de mettre en évidence une transparence et une responsabilité d'un point de vue agroécologique.**

\* L'agencité désigne la capacité des personnes – individuellement ou collectivement – de définir les systèmes alimentaires et les résultats nutritionnels qu'elles souhaitent, ainsi que d'agir et de faire des choix de vie stratégiques pour les obtenir. D'après Ganges S., 2016. From agency to capabilities, Sen and sociological theory. *Current Sociology*, 64(1): 22-40.

#### Contacts

Richard Coe (ICRAF, CGIAR, Kenya), r.coe@cgiar.org  
Fergus Sinclair (ICRAF, CGIAR, Kenya/School of Natural Sciences, Université de Bangor, Royaume-Uni), f.sinclair@cgiar.org

#### Plus d'informations

- (1) Wezel A. et al., 2020. Agroecological principles and elements and their implications for transitioning to sustainable food systems. A review. *Agron. Sustain. Dev.*, 40.
- (2) HLPE. 2019. *Approches agroécologiques et autres approches novatrices pour une agriculture et des systèmes alimentaires durables propres à améliorer la sécurité alimentaire et la nutrition*. Rapport du Groupe d'experts de haut niveau sur la sécurité alimentaire et la nutrition du Comité de la sécurité alimentaire mondiale, Rome.
- (3) Anderson C.R., Maughan C., 2021. 'The innovation imperative': the struggle over agroecology in the international food policy arena. *Front. Sustain. Food Syst.*, 5: 619185.
- (4) Kapgen D., Roudart L., 2020. Proposal of a principle cum scale analytical framework for analysing agroecological development projects. *Agroecol. Sustain. Food Syst.*

## La plateforme Means

*Un cadre conceptuel et un outil INRAE-Cirad pour l'évaluation multicritère de la durabilité des systèmes agricoles*

La transition agroécologique couvre une large gamme de pratiques et de changements de systèmes. Elle porte de nombreuses questions, quant à ses conséquences sur les différentes fonctions et effets de l'agriculture : productivité, rentabilité, impacts environnementaux, services écosystémiques, travail, qualité des produits, etc. Éclairer ces différents domaines et permettre d'en réaliser un diagnostic global pour guider les choix d'évolution sont les objectifs des évaluations multicritères. Il s'agit d'un domaine vaste qui compte de nombreux outils et approches méthodologiques. La plateforme Means, créée en 2012 par INRAE, co-développée par INRAE et Cirad depuis 2018,

met à disposition des outils et des bases de données pour permettre l'évaluation multicritère des systèmes de production végétaux, animaux et de transformation des produits. Elle accueille des outils d'évaluation de la durabilité conçus par la recherche. On y trouve, par exemple, des outils dédiés aux cultures fruitières (Dexi Fruit), aux grandes cultures (Masc) ou aux élevages de volailles (Diamond). La durabilité environnementale est traitée via l'analyse du cycle de vie, avec le développement d'un logiciel dédié : Means-InOut, qui guide la création des inventaires associés aux productions agricoles. Des interfaces de saisie permettent de reconstituer les itinéraires

techniques et mobilisent ensuite des modèles pour évaluer les émissions de polluants et les ressources consommées. Cet outil de référence est notamment utilisé pour générer la partie agricole de la base de données Agribalyse des impacts environnementaux des produits agricoles et alimentaires en France. La plateforme Means poursuit son développement au service des scientifiques et des acteurs des filières concernées par les évolutions des pratiques agricoles (productions légumières, animales, le bio, etc.) ; elle cherche à mieux prendre en compte les pratiques agroécologiques dans leur complexité et leur multiplicité et à développer également des outils pour l'évaluation économique et sociale.

#### Des entrées : liste à choix multiples



▲ Un exemple d'outil hébergé par la plateforme Means : DEXiFruits dédié à l'évaluation de la durabilité des systèmes fruitières.

#### Contacts

Joël Aubin, (SAS, INRAE, France), joel.aubin@inrae.fr  
Jean-Marie Paillat (Recyclage et risque, Cirad, France), jean-marie.paillat@cirad.fr

#### Plus d'informations

- Lairez J., Feschet P., Aubin J., Bockstaller C., Bouvarel I., 2015. *Agriculture et développement durable, guide pour l'évaluation multicritère*. Éducagri Éditions/Éditions Quae, Dijon/Versailles. 232 p.
- Plateforme Means : [www6.inrae.fr/means](http://www6.inrae.fr/means)
- Projet ACVBio, Analyse du cycle de vie de produits bio : <http://itab.asso.fr/activites/projetacv.php>

## Évaluer les impacts environnementaux de l'agriculture biologique

*L'analyse du cycle de vie doit faire mieux*

L'analyse du cycle de vie (ACV) est la méthode la plus utilisée pour l'évaluation environnementale des systèmes agricoles et leurs produits<sup>(1)</sup>. L'ACV évalue l'impact environnemental d'un produit en considérant toutes les étapes de son cycle de vie, du début (extraction des matières premières), via sa production et son utilisation, jusqu'à sa mise en déchet ou son recyclage. La méthode quantifie les émissions de polluants et les utilisations de ressources pour chacune de ces étapes. Ces données sont ensuite agrégées en un nombre limité d'indicateurs d'impact (changement climatique, eutrophisation, utilisation d'énergie, occupation de terres, etc.).



▲ L'agriculture conventionnelle produit des rendements plus élevés, mais l'agriculture biologique offre d'autres avantages. © Yen Strandqvist / Université de Technologie de Chalmers, Suède.

La méthodologie et les études actuelles d'ACV ont tendance à favoriser les systèmes agricoles intensifs utilisant beaucoup d'intrants et à donner une image inexacte des systèmes agroécologiques moins intensifs tels que l'agriculture biologique. Cela est dû en partie à l'approche de l'ACV qui se focalise sur les produits, sans prendre en compte les autres services écosystémiques des systèmes agricoles, et en partie parce que l'ACV prend rarement en compte les aspects que l'agroécologie vise à améliorer (qualité des sols, état de la biodiversité, impacts des pesticides). La pratique actuelle consistant à limiter la prise en compte des effets indirects dans les études d'ACV au seul changement indirect d'utilisation des

terres, en utilisant des modèles économiques qui ignorent les facteurs de changement sociétal et les effets des instruments politiques, favorise davantage les systèmes agricoles intensifs. Nous identifions trois domaines clés (indicateurs supplémentaires, perspective plus large, effets indirects) pour lesquels nous proposons des recommandations pour les praticiens de l'ACV, et des priorités de recherche. Notamment, **il est important que les études ACV prennent en compte les impacts sur la biodiversité et la qualité du sol, ainsi que les impacts des pesticides, afin de permettre une comparaison équilibrée entre agriculture conventionnelle et agroécologie.**

### Contacts

Hayo van der Werf (SAS, INRAE, Institut Agro-Rennes, France), hayo.van-der-werf@inrae.fr

Marie Trydeman Knudsen (Université d'Aarhus, Danemark), mariet.knudsen@agro.au.dk

Christel Cederberg (Université de Technologie, Suède), christel.cederberg@chalmers.se

### Plus d'informations

(1) van der Werf H.M.G., Knudsen M.T., Cederberg C., 2020. Towards better representation of organic agriculture in life cycle assessment. *Nature Sustainability*, 3: 419-425.

## Modélisation et simulation des agroécosystèmes avec la plateforme Record

La conception et le développement de modèles d'agroécosystèmes nécessitent de faire intervenir plusieurs disciplines comme l'agronomie, l'économie, la sociologie et l'écologie. Cela se traduit par une réelle difficulté à intégrer dans le modèle toutes ces composantes,

avec souvent pour conséquence, une spécialisation excessive des modèles autour d'un aspect du système, limitant la démarche holistique. Des gains importants de qualité et d'efficacité de la modélisation sont possibles grâce à l'utilisation d'une plateforme telle que Record, qui offre

différents services au modélisateur. Trois services s'avèrent utiles dans le contexte de l'agroécologie : le couplage de modèles, la modélisation des processus décisionnels et la simulation de plans d'expérience.



### Contacts

Hélène Raynal (Agir, INRAE, France), helene.raynal@inrae.fr

Éric Casellas (Miat, INRAE, France), eric.casellas@inrae.fr

### Plus d'informations

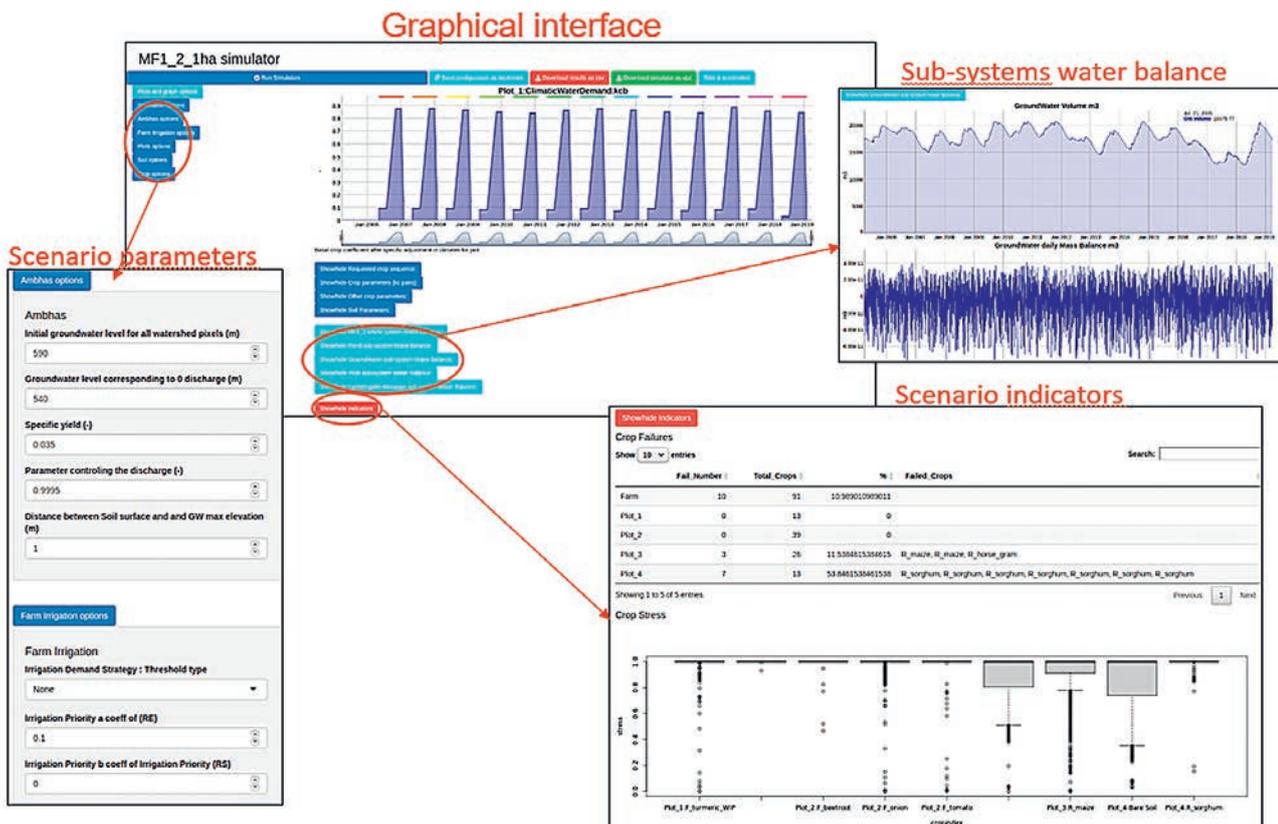
• Bergez J.-E., Chabrier P., Gary C., Jeuffroy M.H., Makowski D., Quesnel G., Ramat E., Raynal H., Rousse N., Wallach D., Debabe P., Durand P., Duru M., Dury J., Faverdin P., Gascuel-Oudou C., Garcia F., 2013. An open platform to build, evaluate and simulate integrated models

of farming and agro-ecosystems. *Environmental Modelling and Software*, 39:39-49. 10.1016/j.envsoft.2012.03.011.

• Bergez J.E. et al., 2014. Evolution of the STICS crop model to tackle new environmental issues: new formalisms and integration in the modelling and simulation platform RECORD. *Environmental Modelling and Software*, Special issue on agricultural systems modelling and software: current status and future prospects. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.07.010>

• Robert M., Thomas A., Sekhar M., Raynal H., Casellas E., Casel P., Chabrier P., Joannon A., Bergez J.-E., 2018. A dynamic model for water management at the farm level integrating strategic, tactical and operational decisions. *Environmental Modelling and Software*, 100: 123-135. doi: 10.1016/j.envsoft.2017.11.013 - <http://prodinra.inra.fr/record/414295>

• Tibi A., Therond O., 2017. Évaluation des services écosystémiques rendus par les écosystèmes agricoles. Une contribution au programme EFSE. Synthèse du rapport d'étude. Inra, France, 118 p.



### ▲ Interface graphique du modèle Atcha.

Cette interface facilite l'utilisation du modèle. Elle offre différents menus. Le menu « scenario parameters » permet de saisir les valeurs de paramètres de la simulation (ex. choix d'une année) et de lancer la simulation (en bas à gauche). D'autres interfaces permettent de visualiser les résultats de la simulation, comme l'évolution temporelle de la hauteur de la nappe phréatique (en haut à droite), la dynamique des cultures sur une parcelle (en haut au centre), et des représentations statistiques comme la fréquence des échecs de culture (en bas à droite). Cette application est utilisée pour tester différents scénarios.

Dans le cadre des travaux menés sur la gestion de l'eau, dans un contexte de changement climatique et de raréfaction de cette ressource à l'échelle d'un petit bassin versant en Inde\*, plusieurs modèles développés à différentes échelles rendent compte du fonctionnement de l'exploitation agricole et du territoire. Ces modèles servent à tester différents scénarios d'adaptation (choix des cultures et modalités d'irrigation), afin de préserver la ressource en eau tout en maintenant les revenus des agriculteurs. Ces modèles ont été conçus par couplage de modèles existants développés par plusieurs communautés (agronomes, hydrologues,

économistes) afin de représenter les différentes entités du système et leurs interactions (voir p. 74). Les processus décisionnels intervenant dans la gestion de l'agroécosystème ont été intégrés dans ces modèles. Le modèle intégré Atcha\* simule ainsi le comportement de l'agriculteur qui est amené à prendre des décisions quotidiennes pour la conduite opérationnelle de l'irrigation des parcelles cultivées. Il simule aussi le pilotage stratégique de l'exploitation, en termes de choix des cultures à planter sur les parcelles selon l'état des ressources en eau et des choix des niveaux d'irrigation. La modélisation et la scénarisation de

ce modèle (Atcha\*) ont été réalisées suivant une démarche de co-conception avec les acteurs. Enfin, les outils de multi-simulations permettent d'étendre les échelles spatiales et temporelles des modèles. Un modèle initialement développé à l'échelle du champ cultivé, a été simulé en de multiples points (plan d'expériences) à l'échelle de la France\*\*.

\* Projet ANR Atcha, Accompagner l'adaptation de l'agriculture irriguée au changement climatique : [www6.inrae.fr/atcha](http://www6.inrae.fr/atcha)

\*\* Voir l'étude EFES-EA, *Évaluation française des écosystèmes et des services écosystémiques visant à faire l'évaluation des services écosystémiques rendus par l'agriculture française* : [www6.paris.inrae.fr/depe/Page-d-accueil/Actualites/EFES](http://www6.paris.inrae.fr/depe/Page-d-accueil/Actualites/EFES)

## Biofunctool® : un outil de terrain « low tech » pour évaluer la santé des sols

Évaluer l'impact des changements de pratiques agricoles sur la santé des sols devient un des principaux enjeux de la transition agroécologique. La notion de santé des sols est basée sur sa capacité à fonctionner et à fournir des services écosystémiques. Pourtant, les méthodes actuelles sont basées principalement sur des indicateurs de stocks (C, N, biomasse microbienne, etc.) et n'intègrent pas, ou peu, d'indicateurs fonctionnels basés sur le rôle des organismes du sol. Lorsqu'elles existent, ces mesures fonctionnelles sont effectuées majoritairement en conditions de laboratoire dans des conditions standardisées limitant notre capacité à prendre en compte la réalité de la fonction sur le

terrain. Pour pallier ces limites méthodologiques, une nouvelle méthode d'évaluation fonctionnelle de la santé des sols est proposée selon une approche intégrative prenant en compte les liens entre les propriétés physico-chimiques et l'activité biologique des sols. Cette méthode intitulée Biofunctool®<sup>(1,2)</sup> intègre neuf indicateurs de terrain (fig. A), rapides et de faibles coûts, permettant d'évaluer trois fonctions principales du sol : la dynamique du carbone, le cycle des nutriments et le maintien de la structure du sol. La capacité de l'ensemble des indicateurs à évaluer l'impact de la gestion des terres sur la santé des sols a été validée sur de nombreux terrains

(> 900 points) principalement tropicaux (Asie et Afrique) et dans des contextes pédoclimatiques divers. Un index de qualité (fig. B) intégrant les indicateurs a été construit afin de synthétiser l'impact global des pratiques sur la santé du sol. Un autre index basé sur deux outils (POXC qui mesure le carbone labile et Situresp qui mesure la respiration basale) permet de mesurer l'impact des pratiques agricoles sur la dynamique du carbone (système minéralisant vs système stabilisant)<sup>(3)</sup>. Biofunctool® permet aux acteurs du monde agricole de mieux appréhender l'impact de leurs pratiques sur le fonctionnement du sol.

### Contacts

Alain Brauman (Eco&Sols, IRD, France), [alain.brauman@ird.fr](mailto:alain.brauman@ird.fr)

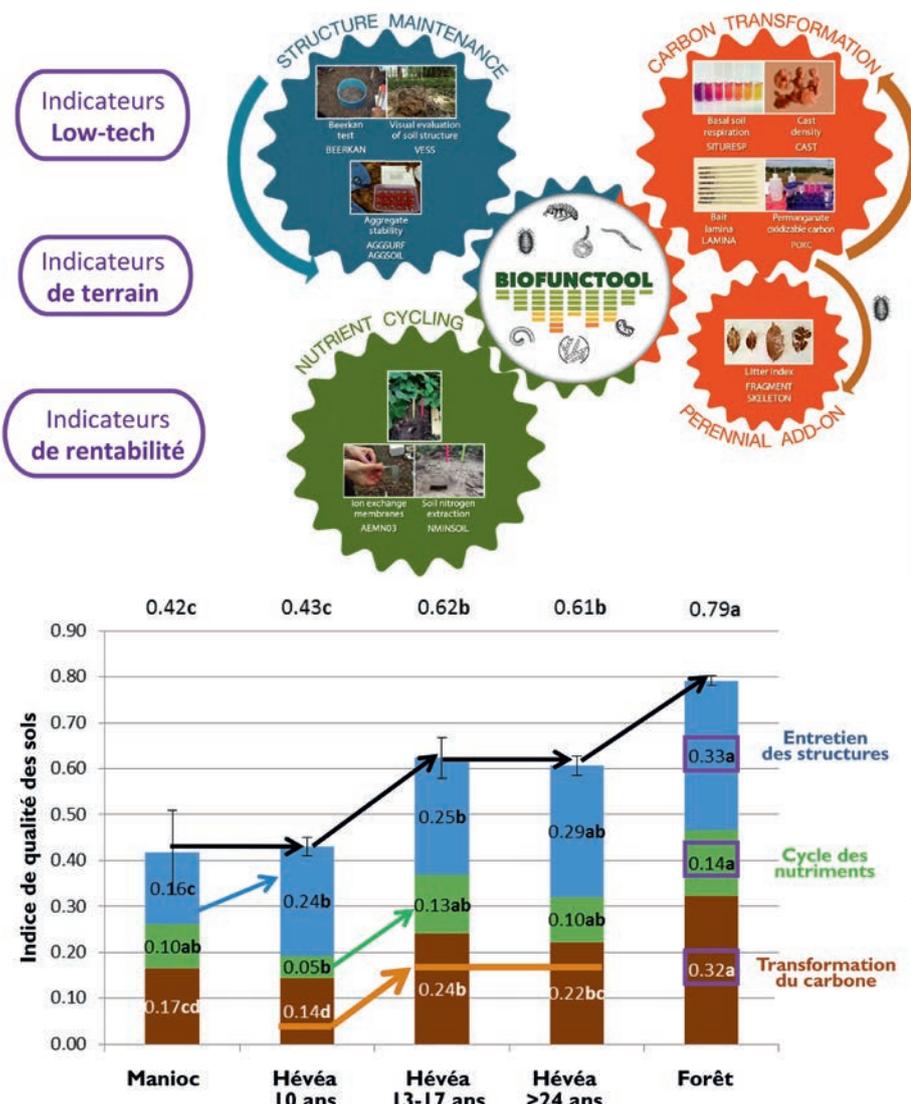
Alexis Thoumzeau (Absys, Cirad, France), [alexis.thoumzeau@cirad.fr](mailto:alexis.thoumzeau@cirad.fr)

### Plus d'informations

(1) Brauman A., Thoumzeau A., 2020. Biofunctool® : un outil de terrain pour évaluer la santé des sols, basé sur la mesure de fonctions issues de l'activité des organismes du sol. *Étude et gestion des sols*, 27(1): 289-303.

(2) Thoumzeau A., Bessou C., Renevier M., Trap J., Marichal R., Mareschal L., Decaëns T., Bottinelli N., Jaillard B., Chevallier T., Suvannang N., Sajjaphan K., Thaler P., Gay F., Brauman A., 2019. Biofunctool®: a new framework to assess the impact of land management on soil quality. Part A: concept and validation of the set of indicators. *Ecol. Indic.* 97: 100-110.

(3) Thoumzeau A., Chevallier T., Baron V., Rakotondrazafy N., Panklang P., Marichal R., Kibblewhite M., Sebagn D., Tivet F., Bessou C., Gay F., Brauman A., 2020. A new in-field indicator to assess the impact of land management on soil carbon dynamics. *Geoderma*, 375: art. 114496 [10 p.].



▲ Figure A. Biofunctool® : liste des indicateurs utilisés pour chaque fonction.

◀ Figure B. Illustration de l'indice de qualité des sols produit par Biofunctool®. Impact du changement d'utilisation des terres (du manioc à la plantation d'hévéa) sur le fonctionnement du sol sur la chronoséquence d'une plantation d'hévéa de 24 ans. D'après Thoumzeau et al. (2019)

# Les living labs, facilitateurs de transformation des chaînes agri-alimentaires



## Un dispositif d'accompagnement à distance d'expérimentations agroécologiques multipartenaires au Sénégal

Pratique agroécologique connue depuis longtemps pour ses effets bénéfiques sur la production végétale, l'inoculation des plantes avec des microorganismes biofertilisants (rhizobiums et champignons mycorhiziens) n'est pourtant pas appliquée en Afrique de l'Ouest. Pour dépasser les essais sporadiques, des chercheurs, paysans, conseillers agricoles, organisations de producteurs, ONG, entrepreneurs et responsables politiques, ont développé un dispositif d'accompagnement à distance d'expérimentations multipartenaires (Diaadem). Il s'appuie sur un partage des décisions et un échange continu par mail et smartphone pour assurer collectivement la mise en place, le suivi et la récolte des essais, la capitalisation des résultats et des informations, et faciliter la formation et le renforcement des compétences. Initié en 2019 avec plus de 30 essais dans 14 communes du Sénégal, Diaadem se développe progressivement en Afrique de l'Ouest. Il a confirmé que **l'inoculation impacte la croissance des plantes, leur vigueur, leur résistance aux pathogènes et stress physiques, et même leur qualité gustative**. Les résultats sont parfois impressionnants (> 80 % de gain de rendement pour la variété Mélékh de niébé à

Coki) bien que pas forcément statistiquement significatifs du fait des conditions expérimentales (limitation du nombre de répétitions en milieu réel, hétérogénéité des parcelles). Ils varient en fonction des sites : l'inoculation n'a parfois pas d'impact, voire inhibe légèrement la croissance, comme à Mont-Rolland avec la variété Mbaye Ngagne. Loin de dissuader les acteurs, ces observations ont stimulé une réflexion sur l'importance de sélectionner les couples variétés/microorganismes les plus efficaces et la nécessité de renforcer les suivis collectifs des expérimentations, pour obtenir des données statistiquement significatives. Au-delà de la définition des méthodes d'application les plus efficaces en fonction des cultures, pratiques et zones éco-géographiques, **elles ont fait prendre conscience de la nécessité de considérer l'ensemble de la filière, de la production à l'utilisation des inoculums, incluant un contrôle de qualité, le respect du protocole de Nagoya, la distribution de valeurs, etc.** Le collectif travaille à l'élaboration d'une charte, d'un modèle socioéconomique et d'une plateforme numérique pour faire de Diaadem un laboratoire au champ vivant, équitable et durable.



▲ Carte des sites expérimentaux au Sénégal.



◀ **Essai sur la commune de Ndiob Hivernage (2019).** Vingt-cinq lignes de niébé (accession choisie par le producteur) présentées par un producteur membre de Diaadem. Photo A. Parcelle témoin. Photo B. Parcelle double inoculation mycorhizée (produit à Darou Mousty) + rhizobium (produit au LCM).

### Contact

contact@filinoc.org

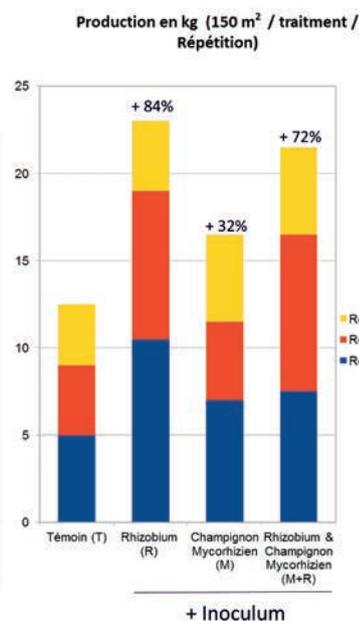
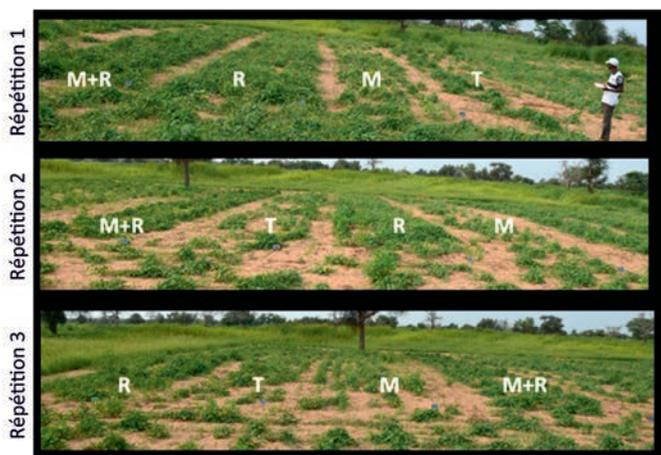
### Auteurs

Marc Neyra (LSTM, IRD, France)  
Tatiana Krasova-Wade (LCM, IRD, Sénégal)  
Antoine Le Quéré (LCM, IRD, Sénégal)  
Fabrice Gouriveau (Service régional innovation et valorisation, SRIV, IRD, France)

### Plus d'informations

- Fil'Inoc, une filière de valorisation des microorganismes symbiotiques des plantes pour le développement de l'agroécologie familiale en Afrique de l'Ouest : <https://view.genial.ly/6076e741fbd35a0da5064b6e>
- Le Quéré A., Diop S., Dehaene N., Niang D., Do Rego F., Fall S., Neyra M., Karsova-Wade T., Development of an Illumina based analysis method to study bradyrhizobial population structure. Case study on nitrogen fixing rhizobia associating with cowpea or peanut. *Applied Microbiology and Biotechnology* (Under revision).

Essai sur le niébé, commune de Coki (Région de Louga), hivernage 2019 mené par un producteur membre de DIAADEM



▲ Les photographies (à gauche) illustrent la croissance du niébé 1 mois après semis. Trois blocs (répétitions) contiennent chacun quatre parcelles élémentaires de 150 m<sup>2</sup> : une parcelle témoin correspondant à la pratique locale « T », une parcelle inoculée avec des Rhizobiums « R », une parcelle inoculée avec les champignons mycorhiziens « M » et une parcelle inoculée avec les Rhizobiums et les champignons mycorhiziens « M+R ». L'histogramme (à droite) indique la production moyenne (et écarts types) en graines de niébé à terme pour les quatre traitements.

# Le potentiel des *living labs* pour la transition agroécologique

Les laboratoires vivants, dispositifs d'innovation ouverte reposant sur trois principes – implication de l'utilisateur, co-conception et contextualisation –, sont de plus en plus suscités par les politiques de la recherche et du développement pour engager la transition des systèmes agricoles. En 2015, le rapport\* remis au ministère français en charge de l'Agriculture, propose de concevoir des laboratoires d'innovation territoriale pour l'agroécologie et la bioéconomie. Depuis 2018, le ministère canadien en charge de l'Agriculture déploie une politique incitative originale engageant son dispositif de recherche, son administration et ses partenaires, dans l'émergence de laboratoires vivants afin d'améliorer la résilience de l'agriculture. En 2019, la France oriente son 3<sup>e</sup> plan d'investissement d'avenir sur les transitions dans les territoires à travers le développement de laboratoires vivants, et dix des 24 projets sélectionnés se préoccupent de transition agroécologique. En 2019, la Commission européenne affirme son intérêt pour le déploiement

et la mise en réseau des laboratoires vivants pour l'agroécologie. Le projet ALL-Ready\*\* est l'une des deux actions concertées visant à concevoir ce réseau européen.

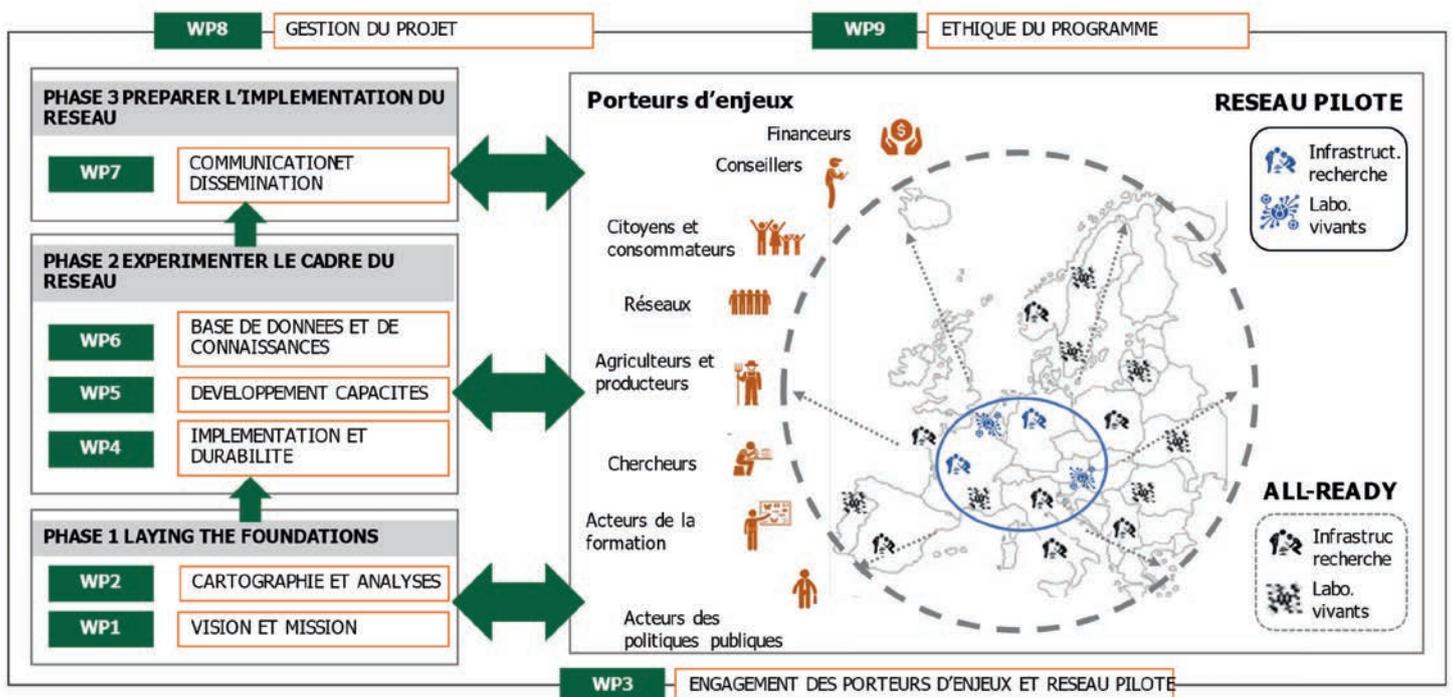
Les laboratoires vivants font écho aux changements de paradigme auxquels fait appel l'agroécologie (penser d'abord « diversité et système », ne pas isoler mais contextualiser, théoriser en « faisant »). Les approches multi-acteurs et interdisciplinaires, nourries par des courants nouveaux en agronomie, sociologie, économie ou ergonomie, y sont mobilisées. **ALL-Ready s'appuie sur la complémentarité d'expertise de ses 13 partenaires afin d'accélérer la transition agroécologique en ouvrant la co-conception de propositions à une grande diversité de parties prenantes (jusqu'au consommateur et au citoyen), et en les impliquant dans des innovations testées en conditions réelles.** L'expérimentation, locale, s'appuie sur un flux

important de connaissances, de savoirs et de données dont la capitalisation se réalise via des réseaux consolidés à partir de la communauté d'expérience des acteurs. **Des indicateurs ont été produits pour repérer en Europe les initiatives susceptibles d'entraîner des changements et ainsi préparer la structure du réseau qui soutiendra ces flux de connaissances, de données et d'expériences.** Les infrastructures de recherche y joueront un rôle essentiel pour soutenir la reconception des systèmes de production. Les étapes suivantes sont la cartographie effective des initiatives dans toute l'Europe et le lancement d'un réseau pilote pour que le travail d'ALL-Ready s'ancre dans la réalité du terrain.

\*Rapport « Agriculture Innovation 2025, 30 projets pour une agriculture compétitive & respectueuse de l'environnement »

\*\* Projet ALL-Ready, Towards the Future network of living laboratories and research infrastructures for agroecology transition (Horizon 2020) : [www.all-ready-project.eu](http://www.all-ready-project.eu)

Ce projet a été financé par le programme de recherche et innovation Horizon 2020 de l'Union européenne dans le cadre de la convention de subvention n° 101000349 (ALL-Ready).



▲ Conception du réseau européen des laboratoires vivants et infrastructures de recherche pour la transition agroécologique. Les travaux du projet européen ALL-Ready (2021-2024) sont organisés avec huit programmes de travail (WP).

## Contacts

Muriel Mambrini-Doudet (Collège de Direction, INRAE, France), [muriel.mambrini@inrae.fr](mailto:muriel.mambrini@inrae.fr)

Chantal Gascuel (Direction Scientifique Environnement, INRAE, France), [chantal.gascuel@inrae.fr](mailto:chantal.gascuel@inrae.fr)

Bastian Goedel (Direction Enseignement Supérieur, Sites et Europe, INRAE, France), [bastian.goldel@inrae.fr](mailto:bastian.goldel@inrae.fr)

Heather McKhann (Direction Enseignement Supérieur, Sites et Europe, INRAE, France), [heather.mckhann@inrae.fr](mailto:heather.mckhann@inrae.fr)

## Plus d'informations

• Caquet T., Gascuel C., Tixier-Boichard M., 2020.

*Agroecology: research for the transition of agri-food systems and territories.* Éd. Quae, Versailles. 96 p.

• Mc Phee C., Banczerz M., Mambrini-Doudet M., Chrétien F., Huyghe C., Gracia-Garza J., 2021. The defining characteristics of agroecosystem living labs. *Sustainability*, 13(4): 1718. <https://doi.org/10.3390/su13041718>

# Conception participative de systèmes de production plus performants en termes de services écosystémiques et d'adaptation au climat en Colombie et au Honduras

**B**ien que l'agroécologie et l'agriculture résiliente au changement climatique soient généralement présentées comme des concepts opposés, la conception de systèmes de production agroécologiques peut générer des synergies entre les trois piliers de l'agriculture résiliente au climat : (i) la sécurité alimentaire ; (ii) l'adaptation au changement climatique ; et (iii) l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre. Cela implique d'adapter les cadres existants pour co-concevoir des systèmes de production agroécologiques. **Une étude menée dans le Cauca (Colombie) et Lempira (Honduras) a exploré les caractéristiques spécifiques d'un tel cadre en sept étapes :**

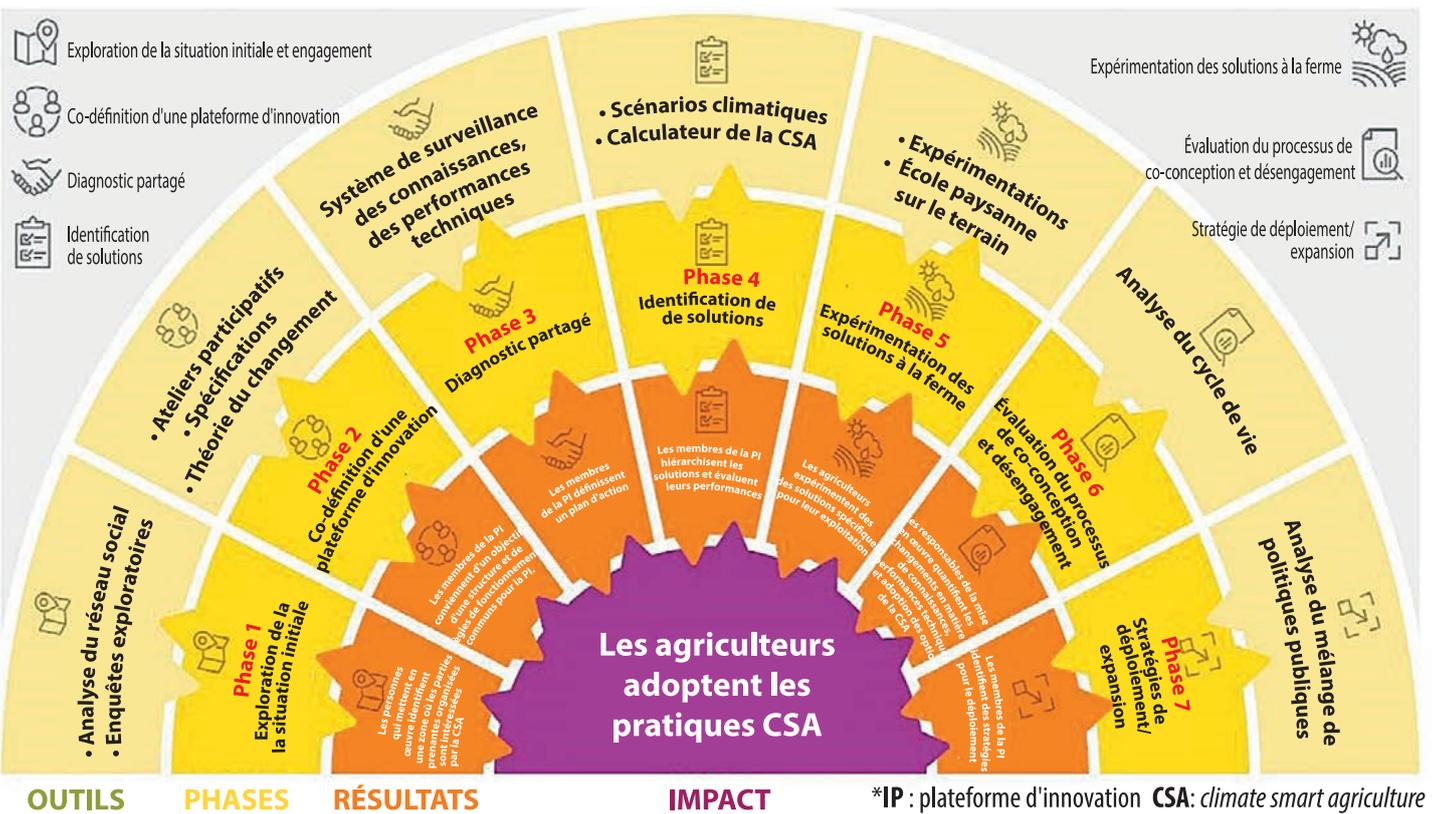
1. Identification d'une zone où la communauté et/ou les acteurs locaux ont un intérêt à développer des pratiques pour lutter contre le changement climatique.
2. Les parties prenantes identifiées s'accordent sur les objectifs spécifiques de la plateforme et sur son mode de fonctionnement. Dans nos sites d'étude, les plateformes impliquaient des organisations ou des agriculteurs, des ONG

jouant le rôle de facilitateurs, des représentants d'institutions publiques et des scientifiques.

3. Les membres de la plateforme caractérisent les forces et faiblesses de leurs exploitations afin d'élaborer un plan d'action combinant essais, ateliers et échanges. Le projet comprend également un système de suivi des réalisations et résultats du projet.
4. Les membres de la plateforme définissent les options techniques et organisationnelles qu'ils souhaitent explorer sur la base de principes agroécologiques (notamment diversité, recyclage, efficacité et résilience). Un calculateur est utilisé pour évaluer *ex ante* les résultats selon les trois piliers de la CSA (*climate-smart agriculture*). Des solutions sont sélectionnées pour aider à diversifier les systèmes de production et à renforcer la sécurité alimentaire des exploitations pratiquant des cultures de rente : potagers domestiques bénéficiant d'une irrigation au goutte-à-goutte, séchoirs solaires pour les coproduits de la banane, ou encore variétés améliorées, tolérantes à la sécheresse, de haricots, sorgho et maïs. Du compost, des réservoirs de collecte

de l'eau et des biopesticides sont choisis pour limiter l'utilisation des intrants agricoles chimiques.

5. Les membres de la plateforme testent les solutions identifiées dans leurs exploitations. Sur les deux sites, 60 agriculteurs ont testé les solutions sélectionnées.
6. Les données provenant du système de suivi défini à l'étape 3, sont utilisées pour valider la capacité du système à atteindre les objectifs visés, et décider de l'utilité d'un nouveau cycle (en recommençant à l'étape 3). Nous avons montré des changements positifs en termes de connaissances des agriculteurs sur des concepts tels que le changement climatique, ainsi que sur l'adoption des pratiques testées. Des agriculteurs ont augmenté la surface expérimentale initiale ou ont investi leurs propres ressources pour continuer à les mettre en œuvre.
7. Les politiques publiques et les conditions favorables sont analysées pour identifier les mécanismes de propagation à grande échelle (programmes, subventions, incitations, etc.) des options testées au sein des plateformes.



▲ Phases du processus de co-conception. D'après Andrieu et al. (2019)

## Contact

Nadine Andrieu (Innovation, Cirad, France),  
nadine.andrieu@cirad.fr

## Plus d'informations

• Acosta-Alba I., Boissy J., Chia E., Andrieu N., 2020. Integrating diversity of smallholder coffee cropping systems in Environmental Analysis. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 25: 252-266.

• Andrieu N., Howland F., Acosta Alba I., Le Coq J-F, Osorio A.M., Martínez-Baron D., Gamba Trimiño C., Loboguerrero A.M., Chia E., 2019. Co-designing climate-smart farming systems with local stakeholders: a methodological framework for achieving large-scale change. *Front. Sustain. Food Syst.*  
<https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00037>

• Osorio-García A.M., Paz L., Howland F., Ortega L.A., Acosta-Alba I., Arenas L., Chirinda N., Martínez-Baron D., Bonilla Findji O., Loboguerrero A.M., Chia E., Andrieu N.,

2020. Can an innovation platform support a local process of climate-smart agriculture implementation? A case study in Cauca, Colombia. *Agroecology and sustainable food systems*, 44(3): 378-411.

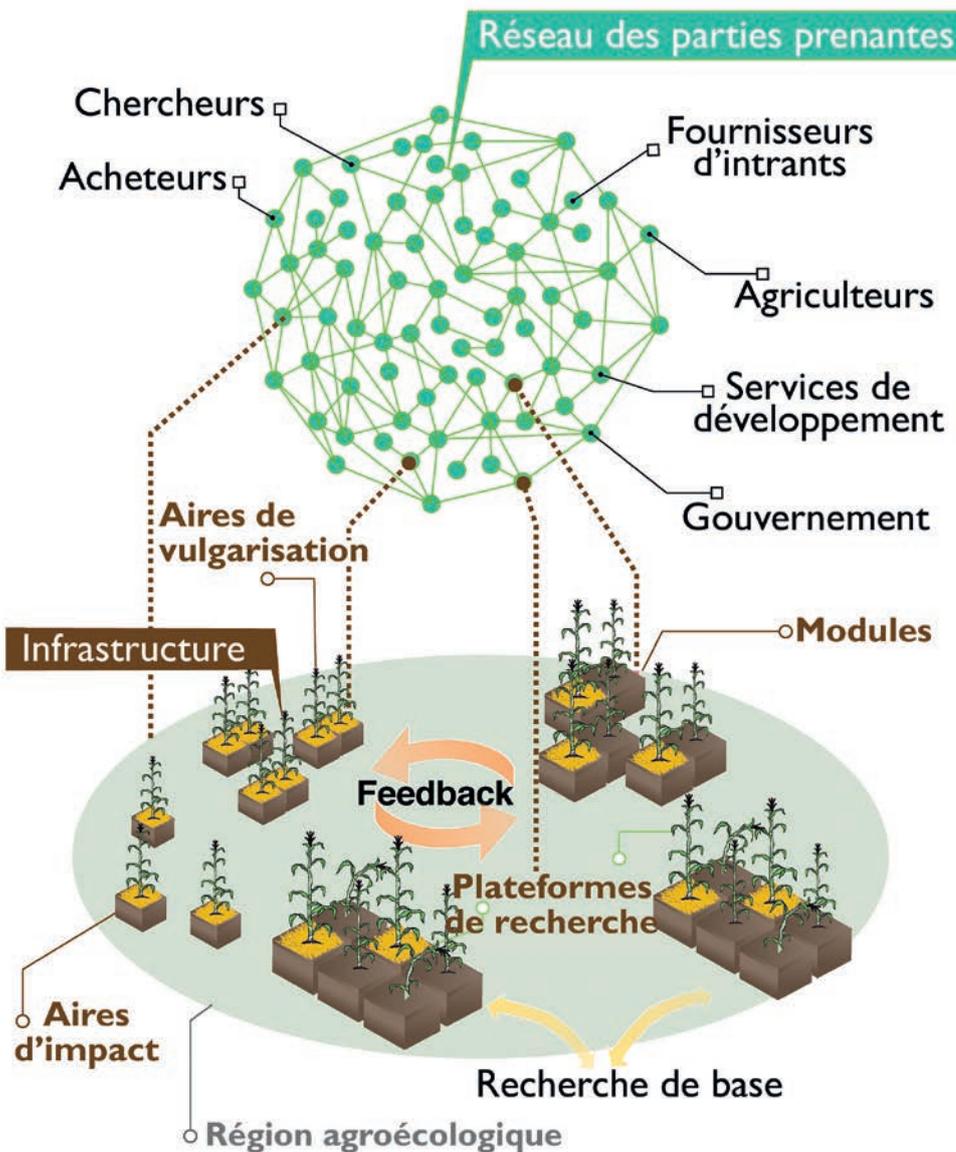
• Acosta-Alba I., Chia E., Andrieu N., 2019. The LCA4CSA framework: using life cycle assessment to strengthen environmental sustainability analysis of climate smart agriculture options at farm and crop system levels. *Agric. Syst.*, 177: 155-170.  
<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.02.001>

# Gestion des connaissances pour l'innovation pour des systèmes agroalimentaires fondés sur l'équité, la participation et la durabilité

Les connaissances sont essentielles pour mettre en place des systèmes d'innovations agroalimentaires sains. Le CIMMYT a développé un cadre de gestion des connaissances agricoles pour l'innovation (AKM4I pour *agricultural knowledge management for innovation*) qui traite des interactions systémiques favorisant l'innovation en formalisant les flux et la gestion d'informations et de connaissances entre diverses parties prenantes ; il prend explicitement en compte les obstacles pratiques et relationnels non résolus jusqu'à présent, afin de faciliter une production et une gestion des connaissances qui soient plus équitables, exploitables et rapidement évolutives pour l'innovation et le changement. Pendant 10 années de travail sur l'innovation au Mexique, le CIMMYT a développé AKM4I dans des systèmes à base de maïs et de blé organisés en hubs agroécologiques distincts. Chaque hub dispose

d'une infrastructure physique, comprenant des plateformes de recherche, des modules, des aires de vulgarisation et d'impact, qui sont utilisés pour mettre en réseau, échanger des connaissances et co-créer. Dans les plateformes de recherche, les partenaires locaux évaluent les technologies et les connaissances locales afin d'élaborer des recommandations scientifiques à l'intention des agriculteurs. Dans les modules, les agriculteurs - avec d'autres parties prenantes - mettent en œuvre et adaptent les meilleures pratiques identifiées et les comparent aux pratiques conventionnelles. Les aires de vulgarisation sont des champs où les agriculteurs testent de nouvelles technologies en lien avec les modules ou les plateformes de recherche, tandis que dans les aires d'impact, les agriculteurs adaptent et adoptent eux-mêmes des connaissances, des technologies et des innovations. Cette infrastructure est utilisée pour créer

un réseau de parties prenantes - agriculteurs, conseillers agricoles, scientifiques, centres de recherche, initiatives privées, acteurs gouvernementaux, etc. - qui collaborent autour d'un objectif commun : l'innovation pour des systèmes agroalimentaires plus durables, productifs, rentables et résilients. Les hubs du CIMMYT donnent la priorité au développement de partenariats solides, grâce auxquels des opérations et des activités sont définies par des alliances autour d'objectifs communs. Ce modèle considère les agriculteurs comme des agents essentiels du changement, au cœur même de l'approche. Ce modèle de hub favorise de véritables interactions entre les agriculteurs et la communauté scientifique, ce qui a conduit à une démarche plus équitable de production, d'adaptation et d'adoption des connaissances.



## Contacts

Andrea Gardeazabal (CIMMYT, CGIAR, Mexique),  
a.gardeazabal@cgiar.org

Nele Verhulst (CIMMYT, CGIAR, Mexique),  
n.verhulst@cgiar.org

Bram Govaerts (CIMMYT, CGIAR, Mexique),  
b.govaerts@cgiar.org

## Plus d'informations

• Gardeazabal A., Lunt T., Jahn M.M., Verhulst N., Hellin J., Govaerts B., 2021. Knowledge management for innovation in agri-food systems: a conceptual framework. *Knowledge Management Research & Practice*, In press.

• Liedtka J., Salzman R., Azer D., 2017. *Design Thinking for the greater good: innovation in the social sector*. Columbia University Press, USA.  
<http://cup.columbia.edu/book/design-thinking-for-the-greater-good/9780231179522>

▲ Illustration schématique des hubs du CIMMYT  
Adapté de Gardeazabal et al. (2021)

# L'apport du numérique à l'agroécologie

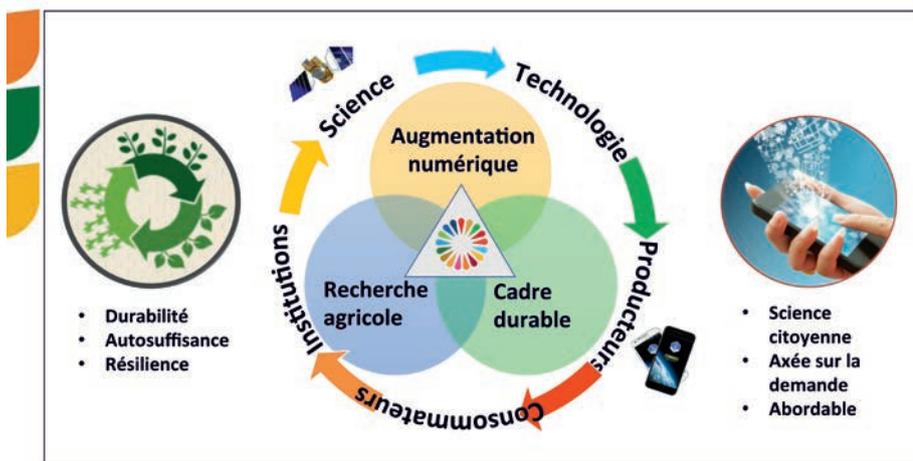
## Accroître le numérique pour la transformation agroécologique des systèmes agroalimentaires dans les zones arides d'Afrique et d'Asie

La façon dont nous cultivons, faisons croître et consommons nos aliments a un impact important sur la durabilité des systèmes agroalimentaires et la santé globale. Des systèmes de production durables ne peuvent pas être basés sur des monocultures. Ils nécessitent un certain niveau de diversification des systèmes agricoles et des paysages avec des mélanges de cultures, d'arbres et d'animaux, afin de préserver la santé des sols et la biodiversité, socles de la santé humaine et de la planète. Les systèmes agri-alimentaires se situent au carrefour de la transformation agroécologique. Le déploiement d'une telle transformation nécessite de quantifier et de caractériser systématiquement les dynamiques des systèmes agricoles et de disposer aussi de typologies d'exploitations à une granularité spatio-temporelle très fine, spécifique des sites et des zones agroécologiques. **Le développement du numérique est alors nécessaire pour relier différents éléments des solutions, et les intégrer au niveau des systèmes. Cela implique de choisir des cultures/variétés**

**et des pratiques de gestion qui soient adaptées aux spécificités d'un lieu et à un objectif d'utilisation efficiente des ressources, tout en privilégiant des zones pour des agroécosystèmes inclusifs.**

L'accroissement numérique fondé sur GeoAgro<sup>(1)</sup> – axé sur la géolocalisation, l'indexation des parcelles, l'observation de la Terre, l'apprentissage automatique et les sciences citoyennes impliquant les TIC – constitue un point de départ essentiel pour le déploiement de services de conseil/informations spécifiques à un site. Par exemple, la cartographie en temps réel de la dynamique des friches rizicoles, les typologies d'exploitations agricoles selon la durée et les dates de début et fin de jachères, l'humidité résiduelle des sols, la nutrition et le calendrier cultural des variétés de riz et de légumineuses, aident à prioriser des zones adaptées à la culture de légumineuses durant la courte période entre deux cultures céréalières, et ce afin d'augmenter les revenus, la nutrition et l'efficacité de l'utilisation

des ressources, tout en restaurant les fonctions des écosystèmes. Ainsi, ces informations contextuelles accessibles à un moment opportun, améliorent la prise de décision quant au déploiement de la culture de légumineuses dans les friches rizicoles à l'est de l'Inde. De même, des conseils agronomiques en réponse à une demande qui sont spécifiques à un site et à une saison, aident l'agriculture égyptienne dominée par les systèmes de blé irrigués peu efficaces, en termes d'utilisation de l'eau, d'apport d'engrais et de production agronomique. En effet, la numérisation des activités de recherche et de transfert aident les services de conseil et favorise l'adoption par les agriculteurs de pratiques de gestion des cultures, de l'eau et des nutriments, spécifiques à un site et à une saison. **De tels outils d'innovation numérique<sup>(2)</sup> accélèrent la transformation agroécologique par le développement inclusif des systèmes agricoles des petits exploitants d'Asie et d'Afrique.**



### Contact

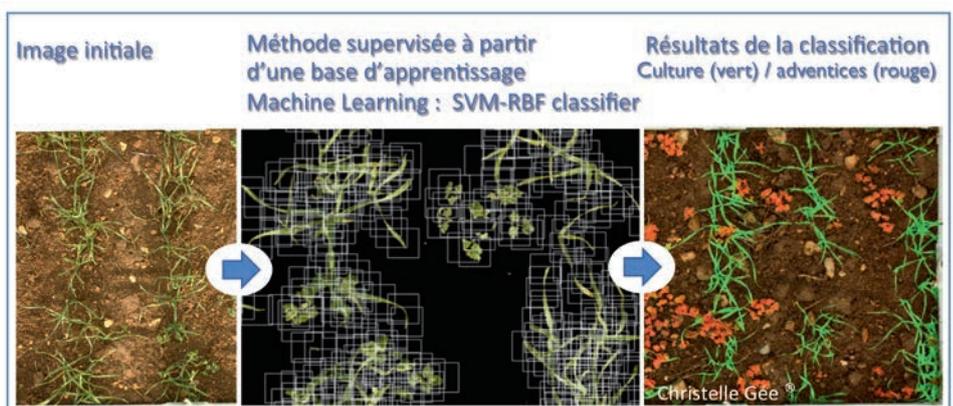
Chandrashekhar Biradar (ICARDA, CGIAR, Égypte),  
c.biradar@cgiar.org

### Plus d'informations

- (1) Portail web GeoAgro, ICARDA 2021 : <https://geoagropro.icarda.org/> (consulté le 29 avril 2021)
- (2) Outils numériques de conseil ICARDA GeoAgro Pro, 2021 : <https://geoagropro.icarda.org/tools-apps/> (consulté le 29 avril 2021)

## L'agroécologie et le numérique font un interfaçage fécond

Les progrès de l'imagerie et du traitement du signal permettent des avancées spectaculaires depuis une dizaine d'années. Les délais de traitement de l'information autorisent dorénavant une intégration pour une action en temps réel. Un exemple emblématique concerne l'ajustement des traitements pesticides aux seules situations qui le justifient, induisant des économies et réduisant les pollutions dommageables à la santé et l'environnement. Coupler l'analyse d'un signal à des modèles de développement des plantes, permet de cerner les situations qui nécessitent une intervention<sup>(1)</sup>. Ainsi le phénotypage en temps réel au champ deviendra progressivement un outil de pilotage des cultures<sup>(2)</sup> ou des troupeaux<sup>(3)</sup>.



▲ Exemple de chaîne de capture, d'analyse et d'interprétation pour une modulation ciblée des actions de contrôle des adventices.

Le processus fait appel à des algorithmes de traitement d'image renforcés par des registres enregistrés. Cet aller-retour entre données acquises et stockées souligne l'importance de disposer d'une large couverture internet du territoire. D'après Gee et al. (2021)

Ces avancées sont en cours d'assimilation par le marché, dans une vision 'prête à l'emploi' de l'agroécologie. Les acteurs adhèrent à cette agriculture technologique car elle apporte des améliorations sans bousculer la logique de l'agriculture conventionnelle. Le pari en cours de démonstration est qu'une stratégie de lutte biologique de conservation, combinée à une diversification du risque cultural et aux choix de variétés adaptées, utilisant ou non des microbiotes protecteurs, saura contenir les risques de nombreuses situations. **Ces leviers génétiques, agronomiques et écologiques, s'appuieront**

**sur une connaissance approfondie, grâce au numérique, de l'état de fonctionnement de l'agrosystème.** Un tel système n'existe pas encore mais de plus en plus d'éléments le rendent toujours plus crédible.

Nous disposons déjà de capteurs installés dans les champs, d'autres sur les animaux ou des ruches, ce qui en fait de véritables sentinelles de l'environnement (voir page précédente). Des capteurs mobiles embarqués sur les machines mesurent en temps réel des paramètres biophysiques des cultures. Les nouvelles technologies permettent déjà d'optimiser

les interventions. On parvient même à mieux anticiper les situations futures et à sécuriser la dimension systémique et préventive de l'écosystème ; l'intervention curative avec des pesticides n'est alors qu'exceptionnelle. Le pilotage visera surtout à renforcer la robustesse de l'agrosystème en maintenant toutes les fonctionnalités nécessaires à sa bonne santé. Aussi, le pari de l'agroécologie sera réussi si elle parvient à décarboner l'économie et restaurer certains milieux dégradés. **Dans ce paradigme, l'agroécologie cadre les finalités là où le numérique concentre les moyens mis en œuvre pour piloter une telle transition.**

#### Contacts

Xavier Reboud (Agroécologie, INRAE, France),  
xavier.reboud@inrae.fr

Christelle Gée (Agroécologie, AgroSup Dijon, France),  
christelle.gee@agrosupdijon.fr

#### Plus d'informations

(1) Gée C., Denimal E., Merienne J., Larmure A., 2021. Evaluation of weed impact on wheat biomass by combining visible imagery with a plant growth model: towards new non-destructive indicators for weed competition. *Precision Agriculture*, 1-19.

(2) Jin S., Sun X., Wu F., Su Y., Li Y., Song S., ... Guo Q., 2021. Lidar sheds new light on plant phenomics for plant breeding and management: Recent advances and future prospects. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 171: 202-223.

(3) Lerch S., De La Torre A., Huau C., Monziols M., Xavier C., Louis L., ..., Pires J.A., 2021. Estimation of dairy goat body composition: A direct calibration and comparison of eight methods. *Methods*, 186: 68-78.

## Un couplage réussi du numérique au biologique avec les ruches connectées

Les avancées en termes de suivi à distance de ruches connectées sont exemplaires. Au départ, les ruches ont été équipées d'un simple boîtier mouchard qui prévenait l'apiculteur sur son smartphone d'un déplacement intempestif du capteur. Puis d'autres capteurs de poids, de température, d'humidité ou de sons émis à l'intérieur de la ruche, ont permis d'avoir accès au bon déroulement de son activité, évitant

les déplacements de l'apiculteur ou le contrôle des ruches toujours stressant pour les abeilles. Différents capteurs donnent ainsi le pouls du fonctionnement harmonieux de l'essaim, ce qui traduit de manière indirecte que le milieu extérieur convient<sup>(1)</sup>. L'équipement d'une ruche avec un système de compteur d'abeilles, suivant les entrées et sorties, vient décupler la capacité d'une ruche à signaler précocement des dysfonctionnements

de l'environnement que visitent les quelques 30 000 butineuses. Un rallongement des retours à la ruche signalera un épuisement des ressources ; un écart entre les entrées et les sorties signalera une surmortalité. Cet exemple montre que **l'équipement numérique de la ruche lui confère une nouvelle « mission » : être une sentinelle de l'environnement.** Déjà des sites industriels à risque se sont équipés de ruches connectées dans cette optique de surveillance accrue de leur environnement et de capacité à quantifier précocement un dysfonctionnement.



#### Contacts

Xavier Reboud (Agroécologie, INRAE, France),  
xavier.reboud@inrae.fr

Didier Crauser (Abeilles & Environnement, INRAE, France),  
didier.crauser@inrae.fr

#### Plus d'informations

(1) Marchal P., Buatois A., Kraus S., Klein S., Gomez-Moracho T., Lihoreau M., 2020. Automated monitoring of bee behaviour using connected hives: towards a computational apidologie. *Apidologie*, 51: 356-368.

◀ **Équipements d'une ruche renseignant sur sa santé et, plus largement, sur la qualité de l'environnement où prospectent les butineuses.** L'incrustation en haut à gauche montre les tags en 2D des abeilles pour un suivi individuel. Différents capteurs équipant la ruche permettent de suivre quelques éléments clé de la santé de l'essaim. © D. Crauser

# Liste des acronymes et abréviations

<b>AC</b>	Agriculture de conservation
<b>ACV</b>	Analyse du cycle de vie
<b>AFD</b>	Agence Française de Développement
<b>COP</b>	Conférence des Parties
<b>CRP</b>	CGIAR Research Program
<b>DGD-RS</b>	Direction générale déléguée à la Recherche et à la Stratégie
<b>EMBRAPA</b>	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
<b>FAP</b>	Cultiver avec des pollinisateurs sauvages
<b>FAW</b>	Légionnaire d'automne
<b>FIDA</b>	Fonds international de développement agricole
<b>GES</b>	Gaz à effet de serre
<b>GIEC</b>	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
<b>GIFS</b>	Gestion intégrée de la fertilité des sols
<b>HLPE</b>	High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition
<b>LIA</b>	Laboratoire international associé
<b>LMI</b>	Laboratoire mixte international
<b>MENA</b>	Moyen-Orient et Afrique du Nord
<b>NU</b>	Nations unies
<b>ODD</b>	Objectif de développement durable
<b>ONG</b>	Organisation non gouvernementale
<b>PAEC</b>	Protection agroécologique des cultures
<b>R&amp;D</b>	Recherche & Développement
<b>RNGA</b>	Régénération naturelle gérée par les agriculteurs
<b>SE</b>	Service écosystémique
<b>SNRA</b>	Système national de recherche agricole
<b>SPG</b>	Système participatif de garantie
<b>SRIV</b>	Service régional d'innovation et de valorisation, IRD
<b>TIC</b>	Technologies de l'information et de la communication
<b>UMI</b>	Unité mixte internationale
<b>UMR</b>	Unité mixte de recherche

## Acronymes des structures de recherche françaises

<b>Absys</b>	Agrosystèmes biodiversifiés
<b>ACT-ASTER</b>	AgroSystèmes - Territoires - Ressources
<b>Agap</b>	Amélioration génétique et adaptation des plantes méditerranéennes et tropicales
<b>Agir</b>	Agroécologie, Innovations et Territoires
<b>Aida</b>	Agroécologie et intensification durable des cultures annuelles
<b>ART-Dev</b>	Acteurs, ressources et territoires dans le développement
<b>Astre</b>	Animal, santé, territoires, risques et écosystèmes
<b>Bagap</b>	Biodiversité, agroécologie et aménagement du paysage
<b>Cefe</b>	Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive
<b>Cired</b>	Centre international de recherche sur l'environnement et le développement
<b>Diade</b>	Diversité, adaptation et développement des plantes
<b>Dynafor</b>	Dynamiques et écologie des paysages agriforestiers
<b>Eco&amp;Sols</b>	Écologie fonctionnelle & biogéochimie des sols & des agro-systèmes
<b>EGCE</b>	Évolution, génomes, comportement, écologie
<b>Espace-DEV</b>	Espace pour le développement
<b>F&amp;S</b>	Forêts et sociétés
<b>Ferlus</b>	Fourrages, ruminants et environnement
<b>Gabi</b>	Génétique animale et biologie intégrative
<b>GDEC</b>	Génétique diversité écophysiologie des céréales
<b>G-Eau</b>	Gestion de l'eau, acteurs et usages
<b>Geco</b>	Fonctionnement écologique et gestion durable des agrosystèmes bananiers et ananas
<b>GET</b>	Géosciences, environnement, Toulouse
<b>Gimic</b>	Genetic Improvement of Indian Cattle and Buffaloes
<b>Hortsys</b>	Fonctionnement agroécologique et performances des systèmes de culture horticoles
<b>Iate</b>	Ingénierie des agropolymères et technologies émergentes
<b>iEES</b>	Institut d'écologie et de sciences de l'environnement de Paris
<b>Iesol</b>	Intensification écologique des sols cultivés en Afrique de l'Ouest
<b>IHAP</b>	Interactions hôtes agents pathogènes
<b>Innovation</b>	Innovation et développement dans l'agriculture et l'alimentation
<b>Intertryp</b>	Interactions hôte-vecteur-parasite-environnement dans les maladies tropicales négligées dues aux trypanosomatidés
<b>Isem</b>	Institut des sciences de l'évolution de Montpellier
<b>LAM</b>	Les Afriques dans le monde
<b>Lapse</b>	Adaptation des plantes et microorganismes associés aux stress environnementaux
<b>LCM</b>	Laboratoire commun de microbiologie
<b>Lepse</b>	Laboratoire d'écophysiologie des plantes sous stress environnementaux
<b>Lisis</b>	Laboratoire interdisciplinaire sciences innovations sociétés
<b>Lisst</b>	Laboratoire interdisciplinaire solidarités, sociétés, territoires
<b>LSTM</b>	Laboratoire des symbioses tropicales et méditerranéennes
<b>Marbec</b>	Marine Biodiversity, Exploitation and Conservation
<b>Miat</b>	Mathématiques et informatique appliquées de Toulouse
<b>Moisa</b>	Marchés, organisations, institutions et stratégies d'acteurs
<b>Phim</b>	Plant Health Institute Montpellier
<b>PSH</b>	Plantes et systèmes horticoles
<b>PVBMT</b>	Peuplements végétaux et bioagresseurs en milieu tropical
<b>Qualisud</b>	Démarche intégrée pour l'obtention d'aliments de qualité
<b>SAD-APT</b>	Science action développement - Activités produits territoires
<b>SAS</b>	Sol agro et hydrosystème spatialisation
<b>Selmet</b>	Systèmes d'élevage méditerranéens et tropicaux
<b>Sens</b>	Savoirs, environnement, sociétés
<b>Tetis</b>	Territoires, environnement, télédétection et information spatiale

# Organisations françaises, Centres et programmes CGIAR\* et partenaires impliqués dans ce dossier

## INSTITUTS FRANÇAIS DE RECHERCHE ET D'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR

- AgroParisTech
- AgroSup Dijon
- Cirad, Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement
- CNRS, Centre national de la recherche scientifique
- ENVT, École nationale vétérinaire de Toulouse
- IFCE, Institut français du cheval et de l'équitation
- INRAE, Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement
- Institut Agro (y compris Agrocampus Ouest et Montpellier SupAgro)
- Irbi, Institut de recherche sur la biologie de l'insecte
- IRD, Institut de recherche pour le développement
- UFR, Université de Tours, François Rabelais
- UM, Université de Montpellier
- UT, Université de Toulouse
- UP Saclay, Université Paris-Saclay

Les équipes de CGIAR, les chercheurs et instituts français sont impliqués dans les programmes de recherche de CGIAR (CRP)\* suivants : A4NH, Agriculture for Nutrition and Health, CCAFS, Climate Change, Agriculture and Food Security ; FISH ; FTA, Forests, Trees and Agroforestry ; GLDC, Grain Legumes and Dryland Cereals ; LIVESTOCK ; MAIZE ; PIM, Policies, Institutions, and Markets ; RICE ; RTB, Roots, Tubers and Bananas ; WHEAT ; WLE, Water, Land and Ecosystems.

Les recherches menées par les équipes françaises et CGIAR impliquent de nombreux autres partenaires (voir encadré ci-dessous).

## INSTITUTIONS PARTENAIRES Instituts de recherche et d'enseignement supérieurs

### EUROPE ET PAYS OCDE

- Centre de recherche sur le paysage agricole de Leibniz, Allemagne
- Collège rural d'Écosse, Royaume-Uni
- Conseil national de la recherche – Institut d'études des écosystèmes terrestres, Italie
- Institut des ressources naturelles, Royaume-Uni
- Institut des sciences de la vie, Italie
- Université catholique de Louvain, Belgique
- Université d'Aarhus, Danemark
- Université d'État de l'Oregon, USA
- Université d'État du Michigan, USA
- Université de Bangor, Royaume-Uni
- Université de Californie à Davis, USA
- Université de Deakin, Australie
- Université de Greenwich, Royaume-Uni
- Université de Parme, Italie
- Université de technologie de Chalmers, Suède
- Université de Wageningen, Pays-Bas
- Université des ressources naturelles et des sciences de la vie, Autriche
- Université d'État de Washington, USA
- Université du Vermont, USA

### AFRIQUE

- Cerd, Centre d'étude et de recherche de Djibouti
- Cread, Centre de recherche en économie appliquée pour le développement, Algérie
- Fofifa, Centre national de recherche appliquée au développement rural, Madagascar
- Icipe, Centre international de physiologie et d'écologie des insectes, Kenya
- Inera, Institut de l'environnement et de recherches agricoles, Burkina Faso
- Institut agronomique et vétérinaire Hassan-II, Maroc
- Institut de la biodiversité d'Éthiopie
- Institut de recherche éthiopien sur l'environnement et les forêts

- Agrisud International, Madagascar
- ANR, Agence nationale de la recherche, France
- Armeffhor, Association réunionnaise pour la modernisation de l'économie fruitière, légumière et horticole, France
- Arvalis, France
- Association Économique de l'Éthiopie
- BAI, Inde
- Bioline Agrosiences, France
- Chambre d'agriculture de La Réunion, France

## CENTRES CGIAR\*

- AfricaRice
- Alliance of Bioversity International and the International Center for Tropical Agriculture (CIAT)
- CIFOR, Center for International Forestry Research
- CIMMYT, International Maize and Wheat Improvement Center
- CIP, International Potato Center
- ICARDA, International Center for Agricultural Research in the Dry Areas
- ICRAF, World Agroforestry
- ICRISAT, International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics
- IFPRI, International Food Policy Research Institute
- IITA, International Institute of Tropical Agriculture
- ILRI, International Livestock Research Institute
- IRRI, International Rice Research Institute
- IWMI, International Water Management Institute
- WorldFish

- Institut polytechnique rural de formation et de recherche appliquée, Mali
- Organisation nationale de recherche agricole, Ouganda
- Plant Genetic Resource Center, Ouganda
- Ucad, Université Cheikh Anta Diop, Sénégal
- Université d'Abomey-Calavi, Bénin
- Université d'Antananarivo, Madagascar
- Université d'État d'Oromia, Éthiopie
- Université de Mekele, Éthiopie

### ASIE

- Académie des Sciences agricoles du Sichuan, Chine
- Catas, Académie chinoise des sciences agricoles tropicales
- IIRR, Institut indien de recherche sur le riz
- Institut indien des sciences
- ITC, Institut de technologie du Cambodge
- KKU, Université de Khon Kaen, Thaïlande
- KU, Université Kasetsart, Thaïlande
- Nomafsi, Institut de recherche en agriculture et foresterie des montagnes du Nord, Vietnam
- Université agricole du Yunnan, Chine
- Université de Can Tho, Vietnam
- Université de Tiên Giang, Vietnam
- Université des sciences agricoles et horticoles, Inde
- Université nationale de l'agriculture du Vietnam
- Université Nong Lam, Vietnam

### AMÉRIQUE LATINE ET CARAÏBES

- Iniap, Institut national de la recherche agronomique, Équateur
- Inifap, Institut national de recherches forestières, agricoles et pastorales, Mexique
- Université fédérale rurale de l'Amazonie, Brésil
- Université technique d'État de Quevedo, Équateur
- Université Veracruzana, Mexique

## Autres organisations

- FAO, Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture
- FDGDON, Fédération départementale des groupements de défense contre les organismes nuisibles, France
- GSDM, Professionnels de l'agroécologie, Madagascar
- Ministère de l'Agriculture et des Affaires rurales, Chine
- Ministère du Développement agricole, Népal
- Tropenbos International, Pays-Bas
- WRI, Institut des ressources mondiales



**Ont participé à ce numéro :**

Adhikari K., Affholder E., Alaphilippe A., Alary V., Albrecht A., Amaral J., Ameur E., Amichi H., Ampadu-Boakye T., Andrieu N., Ankati S., Ann V., Anne M., Arango M., Arango J., Asare R., Atieno M., Atta-Krah K., Aubertot J.-N., Aubin J., Audebert G., Avelino J., Bado V., Bahena E., Bai K., Baijuyka F., Banda P., Barataud E., Barkaoui K., Barnaud A., Barnaud C., Barrière O., Bassi F., Bazile D., Beggi F., Bekunde M., Bélières J.-E., Bellon S., Belqadi L., Bergamini N., Bernard L., Bertrand B., Bessou C., Bidou J.E., Biéname E., Biradar C., Bishaw Z., Blanchard M., Blanchart E., Blanco J., Boichard M., Bordier M., Bouarfa S., Boulestreau Y., Bourion V., Brady M., Braga D., Brandão F., Brat P., Brau L., Brauman A., Bressac C., Bwembelo L., Calatayud P.A., Cardinael R., Cardinale E., Carsan S., Caruso D., Casagrande M., Casellas E., Castella J.-C., Catacutan D., Cederberg C., Cerdan C., Cerf M., Chapuis-Lardy L., Chargelegue F., Chernet M., Chevallier T., Chibeba A., Chikoye D., Chomba S., Choosai C., Chotte J.-L., Christmann S., Coe R., Colangelo P., Coquil X., Corbeels M., Coudel E., Cournac L., Coyne D., Crauser D., Crossland M., Cunha L., Cuong O.Q., Dumont B., Darias, M.J., Dawson I.K., De Santis P., De Vries H., Deconchat M., Dedieu B., Deynne N., Degefu Agazhi Z., Deguine J.-P., Delabouglière A., Deletré E., Dell'Acqua M., Dembele C., Demenois J., Derero A., Deshmukh S., Desquesnes, Devkota M., Dhyani S. K., Djama M., Do H., Dorel M., Dorin B., Drezin J.-M., Droy I., Ducrocq V., Ducrot C., Dufour B., Dumont B., Duponnois R., Dury S., Duval J., Edel I., Ekue M., Elias M., Esquerré D., Estrada Carmona N., Fadda C., Fantahun Lakew B., Fatondji D., Faye B., Feder E., Figuié M., Fleurance G., Flor R.J., Fonteyne S., Forey O., Fortuna T., Fouillet E., Foundjem D., Franco J., Frandon J., Freed S., Fremout T., Frija A., Gallagher E.J., Gardeazabal A., Gascuel C., Gauchan D., Gée C., Gervet C., Gitz V., Gödel B., Gopalakrishnan S., Goshu D., Gouriveau E., Goutard E., Govaerts B., Govoeyi B., Graindorge R., Graudal L., Grondin A., Gumbo D., Haddad M., Hadgu K.M., Hainzelin E., Hambloch C., Harrison R., Hassac S., Hauser M., Hauser S., Hellin J., Hénauld C., Hendre P.S., Herrmann L., Hippolyte I., Homann-Kee Tui S., Hoopen G.M.T., Hostiou N., Hubert B., Huisin J., Hunter D., Ickowitz A., Idoudi Z., Ihalainen M., Iskra-Caruana M.-L., Jaba J., Jacquiet P., Jagoret P., Jamnadas R., Jankowski E., Jarvis D.I., Jatin, Jeuffroy M.-H., Joly E., Jones S., Jouquet P., Kaiser L., Kamara A., Kameli Y., Karki Y., Kassahun Mengistu D., Kebede Y., Kemal S.A., Kidane Y.G., Kikulwe E., Kindt R., Kintche K., Kiros A., Knudsen M.T., Krasova-Wade T., Kreyc C., Kukunur V., Kumar S., Kumar V., La N., Labeyrie V., Laplace L., Le Bars M., Le Coq J.-F., Le Du L., Le Gouis J., Le Page C., Le Quéré A., Leauthaud C., Leclerc C., Lefevre T., Lepage A., Lescourret E., Lescuyer G., Lesueur D., Likando Masheke Siamutondo A., Loconto A., Lohbeck M., Loire E., Loireau M., Londhe S., Louhaichi M., Louman B., Lourme-Ruiz A., Magaju C., Magda D., Makanwar P., Malézieux E., Malou O. P., Mambrini-Doudet M., Manners R., Manners R., Maron P.A., Marques H., Marquier M., Martin G., Martin P., Martin-Prével Y., Masse D., Masso C., Mathe S., McCartney M., McKhann H., McMullin S., Mekonnen K., Mekuria W., Meldrum G., Menta C., Méral P., Metay A., Meybeck A., Meynard J.-M., Mia J., Miccolis A., Mishra S.P., Mockshell J., Molia S., Mollee E., Monterroso I., Moombé K., Mortillaro J.M., Mougel E., Mougnet I., Mouléry M., Muchugi A., Mukuralinda A., Mulani A., Muller B., Mulumba J.W., Muthuri C., Mutuo P., Nabahungu L., Najjar D., Nangia V., Nankya R., Napoléone C., Naudin K., Navarrete M., Nelson K.M., Neyra M., Ngethe E., Nguyen H.T.T., Nguyen T.T., Nigir Hailemariam B., Nordrey T., Novak S., Nurusien J., Nziguheba G., Obonyo J., Ochoa J., Odjo S., Omond A., Otieno G., Otieno M., Ouin A., Paez Valencia A.M., Paillat J.-M., Paillex J.-Y., Pè M.E., Peng H., Penot E., Petit-Michaut S., Peyre M., Piraux M., Plassard C., Pratyusha S., Prin Y., Prudent M., Pypers P., Quintero M., Raharison T., Rakotoniamonjy T.H., Rakotovaon N., Rala A., Ramarofidy M.A., Ramos H., Rana J., Paut R., Rapidel B., Ratnadass A., Raynal H., Razafimbelo T., Rebaudo E., Reboud X., Rekié M., Remans R., Resque G., Ribeyre F., Richard G., Rieux A., Risède J.M., Rizvi J., Robiglio V., Rodenburg J., Roger E., Romero M., Ruiz L., Rusinamhodzi L., Sabatier R., Sabourin E., Saj S., Salgado P., Sanchez-Garcia M., Sander B.O., Sanjaya M., Sanz-Sanz E., Sarter S., Sawan H., Schoneveld G., Scopel E., Seghier J., Sekhar M., Shanker C., Sheeren D., Sib O., Silvie P., Simons A., Sinclair E., Sirami C., Snapp S., Solano P., Sourisseau J.-M., Sousa L., Srinivas V., Stadlmayr B., Staver C., Steel E.A., Stoian D., Strohmeier S., Suarez Capello C., Sudhanshu Singh S., Sultan B., Swaminathan M., Sylla A., Tabo R., Tamò M., Tardieu E., Taulya G., Tchamitchian M., Temani E., Teresa Borelli T., Termote C., Tesfahun Kassie G., Thanh Nghi N., Thein A., Thenail C., Thiam A., Thibord J.-B., Thomas E., Thomas M., Thoumzeau A., Thuita M., Tilahun Melaku M., Tiwari T.P., Toillier A., Traore S., Trap J., Trines E., Trouche G., Valdivia R., Vall E., Van der Werf H., Van Deynze A., Van Do H., Van Hieu N., Van Nguyen H., Van Nguyen T., Van Rooyen A., Vanhuffel L., Vanlauwe B., Verger E., Verhulst N., Vernoy R., Vialatte A., Viaud V., Vincent B., Vinceti B., Vom Brocke K., Wang Y., Wardell D. A., Waris Zaidi N., Wassenaar T., Wery J., Whitbread A., Winkel T., Winowiecki L.A., Wollenberg L., Yadav S., Yana-Shapiro H., Yila J.O., Yitayih M., Zhong S.

**Remerciements spéciaux** à Monika Kiczka (CIFOR) et Yemeserach Megenasa (ICARDA) pour leur appui.

**Remerciements pour l'iconographie** : tous les contributeurs du dossier ainsi que Véronique Gaston (IRD Multimédia).

**Directeur de la publication** : Patrick Caron (Président, Agropolis International)

**Édition** : Isabelle Amsellem (Agropolis International/Agropolis Productions)

**Communication et diffusion** : Lyra Menon (Agropolis International)

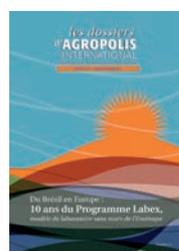
**Mise en page et infographie** : Frédéric Pruneau

**Impression** : LPJ Hippocampe (Montpellier, France)

**Pour référence :**

Atta-Krah K., Chotte J.-L., Gascuel C., Gitz V., Hainzelin E., Hubert B., Quintero M., Sinclair F. (éd.), 2022. Transformations agroécologiques pour des systèmes alimentaires durables. Panorama de la recherche France-CGIAR. *Les dossiers d'Agropolis International*, 26. Agropolis International, Montpellier, France. 148 p. DOI : 10.23708/fdi:010083985 - ISSN : 1628-4240

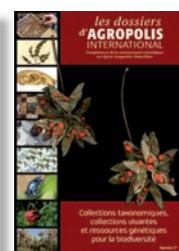
Les informations contenues dans ce dossier sont valides au 31/12/2021.



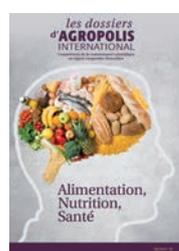
**Octobre 2012**  
48 pages  
Français et anglais



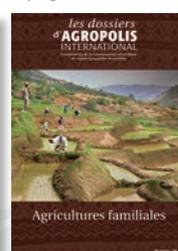
**Février 2013**  
48 pages  
Français, anglais, espagnol



**Octobre 2013**  
76 pages  
Français



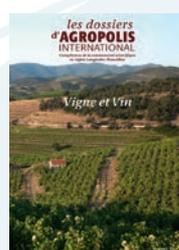
**Décembre 2013**  
72 pages  
Français



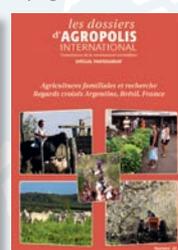
**Février 2014**  
64 pages  
Français, anglais, espagnol



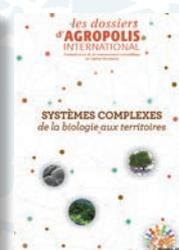
**Février 2015**  
88 pages  
Français et anglais



**Novembre 2015**  
76 pages  
Français et anglais



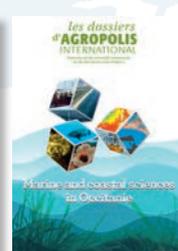
**Avril 2016**  
72 pages  
Français



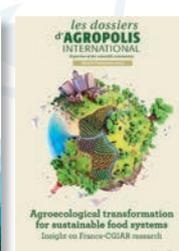
**Juin 2018**  
80 pages  
Français et anglais



**Décembre 2019**  
52 pages  
Français et anglais



**Février 2019**  
132 pages  
Français et anglais



**Septembre 2021**  
148 pages  
Français et anglais

**Les dossiers d'Agropolis International**

La collection des *dossiers d'Agropolis International* est un outil phare de présentation et de promotion des compétences des membres d'Agropolis International sur des problématiques scientifiques majeures. Chaque dossier est consacré à une thématique spécifique.

Les unités de recherche et les formations concernées y sont présentées ainsi que les travaux menés et leurs résultats. Les dossiers donnent aussi un éclairage sur les apports de la société civile, de la sphère économique et des collectivités territoriales dans ces domaines.

Chaque dossier est décliné en version papier et numérique, généralement en deux langues (français et anglais).

**Pour découvrir tous les numéros :**

[www.agropolis.fr/publications/dossiers-thematiques-agropolis.php](http://www.agropolis.fr/publications/dossiers-thematiques-agropolis.php)  
Dossier également disponible en anglais.

**Coordination scientifique**  
Kwesi Atta-Krah (IITA), Jean-Luc Chotte (IRD), Chantal Gascuel (INRAE),  
Vincent Gitz (CIFOR), Étienne Hainzelin (Cirad),  
Bernard Hubert (INRAE, Agropolis International), Marcela Quintero (Alliance of  
Biodiversity International and CIAT), Fergus Sinclair (ICRAF)

**Coordination éditoriale et rédaction**  
Isabelle Amsallem (Agropolis International)  
et Bernard Hubert (INRAE, Agropolis International)

ISSN : 1628-4240 (imprimé) et 1961-9979 (numérique) • DOI: 10.23708/fdi:010083985

Dépôt légal : mars 2022

**AGROPOLIS**  
INTERNATIONAL

1000 avenue Agropolis  
F-34394 Montpellier CEDEX 5  
France

Tél.: +33 (0)4 67 04 75 75  
Fax: +33 (0)4 67 04 75 99  
agropolis@agropolis.fr  
www.agropolis.fr