

Cahiers **Agricultures**

**Gestion de la fertilité des sols
en Afrique subsaharienne**

**Recueil d'articles publiés de 1998 à 2024
Coordination : Patrick Dugué, Christine Rawski**



Sommaire / Contents

Cahiers **Agricultures**

Cahiers Agricultures est une revue scientifique, principalement francophone, sur les agricultures du monde, leur fonctionnement, leur évolution et leur place dans les sociétés

Édition en ligne/Services d'alerte

Cahiers Agricultures est une revue en accès libre intégral.
La revue en ligne et les instructions aux auteurs sont disponibles sur :
www.cahiersagricultures.fr

Vous pouvez également vous inscrire à une alerte par courriel pour recevoir un message automatiquement à la parution de chaque nouveau numéro.

ISSN (version imprimée) : 1166-7699
ISSN (version électronique) : 1777-5949

Produit et hébergé par :

EDP Sciences S.A.
17 avenue du Hoggar,
PA de Courtabœuf, BP 112,
91444 Les Ulis Cedex A, France
www.edpsciences.org

Rédacteurs en chef :

Jean-Yves Jamin, Christine Rawski,
Jean-Philippe Venot
cahiers.agric@cirad.fr

Appui à la publication et à l'édition :

Carmen Renaudeau
carmen.renaudeau@cirad.fr

Secrétariat de rédaction :

Aliénor Decours-Perez
alienor.decours-perez@edpsciences.org

Directeur de Publication :

Elisabeth Claverie de Saint Martin
Dépôt légal : Février 2024
Imprimé en France par : Dupliprint
733, rue Saint-Léonard, 53100 MAYENNE

Photos de couverture :

C. Dangleant, P. Bonnet

Gestion de la fertilité des sols en Afrique subsaharienne

Recueil d'articles publiés de 1998 à 2024
Coordination : Patrick Dugué, Christine Rawski

Ce fascicule, publié à l'occasion du Salon international de l'agriculture de Paris 2024, présente l'évolution des recherches sur la gestion de la fertilité des sols en Afrique subsaharienne, à partir d'un choix d'articles publiés au fil des ans par la revue *Cahiers Agricultures*.

Synthèse : Pour une gestion durable des sols en Afrique subsaharienne

*Review: Towards sustainable soil management in
sub-Saharan Africa*

P. Dugué, N. Andrieu, T. Bakker (2024)

**Fertilité des sols pour la production céréalière en zone
sahélo-soudanienne et valorisation des phosphates naturels**
*Soil fertility constraints to sustainable crop production in
the Sahelo-sudanian zone: case on phosphorus and efficient
use of indigenous phosphates rock*

A. Bationo, S. Koala, E. Ayuk (1998)

**Amélioration de la gestion des sols par l'introduction de
légumineuses dans les systèmes céréaliers des savanes
africaines**

*Lessons for appropriate soil management technology
generation for the savannas and their application to the grain
legume-cereal rotation system*

R. Carsky, B. Douthwaite, V. Manyong, N. Sanginga,
S. Schulz, B. Vanlauwe, J. Diels, J. Keatinge (2003)

**Sécurité foncière et gestion de la fertilité des sols : études
de cas au Ghana et au Bénin**

*Tenure security and soil fertility management: Case studies
in Ghana and Benin*

A. Saïdou, S. Adjei-Nsiah, D. Kossou, O. Sakyi-Dawson,
T.W. Kuyper (2007)

**Impact de l'agriculture climato-intelligente sur les stocks
de carbone organique du sol à Madagascar**

*Climate smart agriculture impact on soil organic carbon
stocks in Madagascar*

T. M. Razafimbelo, A. Andriamananjara, T. Rafolisly,
H. Razakamanarivo, D. Masse, E. Blanchart, M.-V. Falinirina,
L. Bernard, N. Ravonjarison, A. Albrecht (2018)

Cahiers Agricultures is a scientific journal on world farming systems – how they are changing and their role in society

Online edition/Alert services

Cahiers Agricultures is a full open access journal. The online edition of Cahiers Agricultures and instructions for authors are available at : www.cahiersagricultures.fr

You can also subscribe to e-mail alert to automatically receive an e-mail each time a new issue is published.

ISSN (printed version): 1166-7699
ISSN (electronic version): 1777-5949

Hosted and distributed by:

EDP Sciences S.A.
17 avenue du Hoggar,
PA de Courtabœuf, BP 112,
91444 Les Ulis Cedex A, France
www.edpsciences.org

Editors-in- Chief:

Jean-Yves Jamin, Christine Rawski,
Jean-Philippe Venot
cahiers.agric@cirad.fr

Publication and Edition Assistant:

Carmen Renaudeau
carmen.renaudeau@cirad.fr

Chief sub-editor:

Aliénor Decours-Perez
alienor.decours-perez@edpsciences.org

Publishing Director

Elisabeth Claverie de Saint Martin
Legal deposit: February 2024
Printed in France by: Dupliprint
733, rue Saint-Léonard, 53100 MAYENNE

Cover photos:

C. Dangleant, P. Bonnet

Pour une gestion durable des sols en Afrique subsaharienne

Patrick Dugué^{1,*}, Nadine Andrieu^{2,3}  et Teatske Bakker^{3,4}

¹ Chercheur émérite, agronome, 34270 Saint-Mathieu-de-Trévières, France

² CIRAD, UMR INNOVATION, 97130 Capesterre, Guadeloupe, France

³ INNOVATION, Univ Montpellier, CIRAD, INRAE, Institut Agro, Montpellier, France

⁴ CIRAD, UMR INNOVATION, LRIDA, Université de Parakou, BP 1269 Parakou, Bénin

Résumé – La faible productivité de l'agriculture en Afrique subsaharienne est due en grande partie à la dégradation de la fertilité des sols. Les agricultures familiales, pilier de la sécurité alimentaire de cette grande région, doivent relever le défi de la restauration et du maintien de la capacité productive des terres. Les pratiques endogènes des producteurs telles que les associations céréales-légumineuses, les jachères pâturées, les parcs arborés... ne permettent plus d'entretenir la fertilité sur des surfaces cultivées qui s'agrandissent, surtout lorsque les sols sont carencés. Durant quatre décennies, les décideurs et acteurs du secteur agricole ont privilégié la vulgarisation des engrais de synthèse. Mais l'utilisation des engrais minéraux demeure faible et bien en deçà de la moyenne de la consommation mondiale (15 kg/ha contre 135 kg/ha). Après avoir longuement promu l'utilisation de fumure organique, la recherche invite désormais à diversifier les sources de biomasse fertilisante *via* l'agroforesterie, les associations avec les légumineuses, l'agriculture de conservation. D'autres techniques de conservation de l'eau et du sol ont également été mises en avant. C'est bien la combinaison de différentes pratiques qui est à construire avec les agriculteurs pour chaque situation de production, en fonction des ressources disponibles localement, d'un apport raisonné d'engrais de synthèse et d'amendement, des savoirs paysans et scientifiques. Pour cela, il est nécessaire (i) de modifier les postures des chercheurs et des décideurs vis-à-vis des ruraux et (ii) de réviser les politiques publiques toujours focalisées sur l'usage des engrais minéraux, afin de fournir des services d'appui-conseil plus diversifiés, performants et intégrant les besoins de transitions agroécologiques indispensables aujourd'hui dans un contexte de changement climatique.

Mots clés : fertilité du sol / matière organique / engrais / agroécologie / Afrique subsaharienne

Abstract – **Towards sustainable soil management in sub-Saharan Africa.** The low productivity of agriculture in sub-Saharan Africa is largely due to the degradation of soil fertility. Family farming, the cornerstone of food security in this vast region, faces the challenge of restoring and maintaining the land's productive capacity. Farmers' endogenous practices, such as cereal-legume intercropping, grazed fallows and tree plantations, are no longer able to maintain fertility on expanding cultivated areas, especially when soils are deficient. For four decades, decision-makers and stakeholders in the agricultural sector have favored the widespread use of synthetic fertilizers. However, the use of mineral fertilizers remains low and well below the global average (15 kg/ha *versus* 135 kg/ha). Having long promoted the use of organic manure, research is now encouraging the diversification of biomass sources through agroforestry, intercropping with legumes and conservation agriculture. Water and soil conservation techniques have also been put forward. It is indeed the combination of soil fertility management practices that needs to be developed with farmers for each production situation, depending on locally available resources, a rational use of synthetic fertilizers, and farmers' and scientists' knowledge. To achieve this goal, it is necessary (i) to modify the postures of researchers and decision-makers towards rural people, and (ii) to revise public policies that still focus on the use of mineral fertilizers, in order to provide more diversified, high-performance advisory services that integrate the requirements of the agroecological transitions, which are essential today in a context of climate change.

Keywords: soil fertility / organic matter / fertilizers / agroecology / Sub-Saharan Africa

*Auteur correspondant : patrick.dugue34@orange.fr

1 Introduction

La faible productivité des systèmes agricoles en Afrique subsaharienne (IFPRI, 2016) peut être attribuée à différents facteurs tels que la dégradation des sols (moins de jachère longue, moins d'accords entre agriculteurs et éleveurs...), la faible mécanisation et le renforcement des aléas pluviométriques du fait du changement climatique (Ehui et Pender, 2005 ; Tiftonnell et Giller, 2013). Dans ce contexte, les agriculteurs disposent de peu de moyens pour inverser ces évolutions, hormis leurs savoir-faire et leur investissement en travail (souvent manuel). Lorsqu'ils disposent de quelques moyens financiers, ils privilégient l'intensification de leurs systèmes de culture par l'utilisation d'intrants de synthèse (engrais minéraux, pesticides) (Dugué, 2022).

La dégradation des terres agricoles est un phénomène complexe qui associe la réduction de la quantité de nutriments et de matières organiques dans les sols, leur dégradation physique (compaction, érosion), mais aussi biologique (infestation du sol par des bactéries ou des semences ou stolons d'adventices). Pourtant, la recherche et les structures de développement ont engagé des études et apporté des appuis aux agriculteurs depuis plus d'un demi-siècle, sans que des solutions concrètes et durables aient pu être mises en œuvre à grande échelle en Afrique subsaharienne. Malgré l'importance des savoirs et savoir-faire paysans, les agriculteurs d'aujourd'hui ont du mal à entretenir la fertilité de leurs terres. Les pratiques traditionnelles sont-elles obsolètes ? Les innovations techniques et organisationnelles proposées sont-elles inefficaces ou trop difficiles à mettre en œuvre ? Les mesures et méthodes d'accompagnement des structures de développement sont-elles inadaptées ?

L'objectif de cet article est d'apporter un point de vue d'agronome sur les capacités des acteurs du secteur agricole, et en premier lieu des agriculteurs, à assurer une gestion durable de la fertilité des terres agricoles. Ce travail s'appuie sur une analyse réflexive à partir de nos travaux menés en Afrique subsaharienne depuis plusieurs décennies. Notre hypothèse est que cette question complexe, relative à divers facteurs de production (travail, ressources locales, intrants importés, connaissances...), ne peut être efficacement traitée qu'avec des approches systémiques et holistiques, au croisement de plusieurs disciplines scientifiques et des savoirs paysans.

2 Approche historique de la gestion de la fertilité des sols

Avant d'appréhender cette démarche holistique de la gestion des sols, un retour rapide dans le passé est utile pour comprendre les stratégies et les logiques des acteurs concernés. La dégradation des sols est un phénomène ancien dans certaines régions subsahariennes en Afrique. Ainsi les géographes et les administrateurs coloniaux abordaient dans leurs écrits cette dégradation dès la fin du XIX^e siècle au centre sud du Bénin (Gayibor, 1986), dans les années 1930 au centre du Sénégal (Tourte, 2019) et à partir des années 1950 sur le plateau central au Burkina Faso (Marchal, 1982). Dans toutes ces situations, la baisse de fertilité des terres cultivées a pour origine l'accroissement de la population rurale. Lorsque la densité dépasse 50 ou 70 habitants/km², les agriculteurs ne sont

plus en mesure d'entretenir la fertilité du sol par la jachère de moyenne ou longue durée faute de terres disponibles (Floret et Serpantié, 1993). De plus, les populations plus nombreuses prélèvent plus de bois et de résidus de culture dans les champs pour les besoins des familles, ce qui a pour conséquence de rendre moins efficace la pratique de la jachère restituant au sol des matières organiques plus ou moins bien décomposées. Il a aussi été constaté que l'accroissement de la population rurale s'accompagne toujours d'une augmentation de la densité de ruminants dans les zones où l'élevage n'était pas trop contraint par des zoonoses (Vall *et al.*, 2017). Ainsi, bien que cet accroissement des cheptels se traduise par une augmentation de production de fumure animale, cette évolution s'accompagne aussi (i) d'une augmentation des prélèvements de biomasse végétale (pailles, feuillage et fruits d'arbres) et (ii) de pertes de matières organiques pour les sols (pertes par gazéification, ruissellement, abandon *in situ*, d'où valorisation partielle de la fumure faute de moyens de transport).

Toutefois, durant la première moitié du XX^e siècle, les paysans Serer au Sénégal, Tupuri des plaines au nord du Cameroun et ceux du Plateau Akposso du Togo ont pu, sans l'appui d'agronomes, de forestiers ou de projets de développement, mettre en place des techniques qui ont efficacement contribué à préserver la fertilité de leurs sols (Fig. 1). Il s'agit, entre autres, de la construction de terrasses en pierres, de la jachère pâturée en rotation avec les céréales et l'arachide, des associations sorgho-niébé, des micro-jachères à base d'arbustes comme *Piliostigma reticulata* (Chapuis-Lardy *et al.*, 2019), des parcs arborés denses à base de *Faidherbia albida*, *Vitellaria paradoxa* (karité) ou *Proposopis africana* (Smektala *et al.*, 2005) et de la pratique du *zaï* (Roose *et al.*, 2017). Cette dernière technique consiste à creuser des cuvettes profondes de 10 à 15 cm avant les pluies, d'y adjoindre de la fumure organique avant d'y semer du sorgho ou du mil.

Mais la plupart de ces pratiques endogènes sont difficiles à mettre en œuvre sur de grandes superficies, du fait de la charge en travail qu'elles demandent, de la faible disponibilité en terre par actif (pour la jachère) et du manque d'équipements pour des travaux pénibles comme le transport des pierres et des biomasses. D'autres pratiques nécessitent une forte coordination entre les activités d'élevage et les productions végétales, et un investissement important en travail de gardiennage des troupeaux afin de préserver la repousse des arbres fertilisants et le système de reconstitution de la fertilité du sol par la jachère. La réussite de ces pratiques implique des règles collectives de gestion de l'espace et des ressources naturelles comprises et appliquées par tous les usagers du territoire dans un contexte où les densités de population croissantes rendent inopérantes les règles antérieures.

3 De la promotion des engrais minéraux à la vision organique de la gestion des sols

Comme en Europe au début du XX^e siècle, la fertilisation minérale des cultures avec les engrais de synthèse est apparue en Afrique subsaharienne dès les années 1960 comme la technique universelle qui permettrait de maintenir la fertilité des sols tout en assurant de bons rendements (Wanzala, 2010). Durant cette période, la majorité des agronomes considéraient qu'il suffisait d'apporter aux sols chaque année la quantité de



Fig. 1. Cordons pierreux contre l'érosion au Yatenga, Burkina Faso. Photo P. Dugué.

Fig. 1. Stone barriers against erosion in Yatenga, Burkina Faso.

nutriments nécessaire aux cultures (sous la forme d'engrais NPK et d'urée principalement) et à peu près équivalente aux quantités exportées par les récoltes de grain et de paille, et la vaine pâture. Cette option technique a été largement vulgarisée durant plusieurs décennies par les agences de développement, en particulier par la FAO qui a mis en œuvre des projets « engrais » dans la plupart des pays d'Afrique subsaharienne (FAO, 2001). Un institut de recherche-développement, émanation des industriels des engrais, l'International Fertilizer Development Center (IFDC), a été mis en place en 1975 pour promouvoir ces fertilisants et en assurer une utilisation la plus efficace possible. Ces programmes, mis en œuvre par les ministères de l'agriculture, ont aussi comporté des mécanismes de subvention des engrais et plus rarement de vente à crédit. Durant la même période, et suite aux plans d'ajustement structurel, les structures de conseil agricole ont vu leurs ressources humaines et matérielles se réduire, rendant difficile la formation et l'accompagnement des agriculteurs à une démarche systématique et complète de gestion de la fertilité des sols.

Il s'avère qu'après quatre décennies de promotion des engrais minéraux (1970–2010), la consommation d'engrais de l'Afrique subsaharienne n'a que faiblement progressé. Ainsi, en Afrique de l'Ouest, les agriculteurs ont utilisé respectivement en 1990, 2000, 2010 en moyenne 7,5 ; 5,0 et 8,7 kg

d'éléments fertilisants par hectare (N, P et K additionnés), alors que l'objectif fixé à Abuja en 2006 par l'Union africaine était de 50 kg/ha. Ce n'est que durant la dernière décennie (2011–2020) que cette consommation a progressé pour atteindre 15 kg/ha, alors que la consommation mondiale d'éléments fertilisants sous forme d'engrais minéral atteignait 135 kg/ha (BAD, 2021). Cette progression n'est toutefois pas généralisée à toutes les situations agraires.

En Afrique subsaharienne, l'utilisation des engrais minéraux hors périmètres agro-industriels (cane à sucre, banane, palmier à huile, hévéa...) est le fait d'exploitations familiales appuyées par des filières organisées comme celles du coton (Deguine *et al.*, 2000), du riz irrigué et dans une moindre mesure du maïs. Ces filières mobilisent le secteur bancaire pour fournir de l'engrais minéral à crédit. Les agriculteurs emprunteurs remboursent ce crédit soit en numéraire après la vente de leur production, soit en livrant une partie de la récolte à l'organisme prêteur, une union de coopératives ou une société agro-industrielle. De plus, l'utilisation des engrais concernait et concerne toujours des zones de production favorisées par des conditions d'alimentation hydrique des cultures favorables : pluviométrie supérieure à 800 mm/an et périmètres irrigués.

Malgré cette organisation de l'approvisionnement en engrais, la fertilisation minérale n'est pas apparue comme la



Fig. 2. Enclos mobile à bétail utilisé pour la fumure en Éthiopie. Photo P. Bonnet.

Fig. 2. *Mobile livestock pen used for manuring in Ethiopia.*

solution idéale et « passe-partout » pour assurer la gestion de la fertilité des sols et donc le bon développement des cultures, cela de quatre points de vue :

- le coût des engrais minéraux reste élevé du fait de leur importation. Ce coût s'accroît dans les pays avec les difficultés de transport sur de mauvaises pistes et la multiplication des taxes, officielles ou non. Encore aujourd'hui, une majorité d'agriculteurs ne peuvent pas acheter d'engrais ou alors en petite quantité, surtout dans les pays et régions où il n'existe pas de système d'approvisionnement à crédit ni de subvention ;
- les sécheresses en cours de campagne agricole limitent fortement la rentabilité des engrais, surtout dans les sols sableux et les régions à pluviométrie inférieure à 700 mm/an. Il en est de même dans les situations de bas de pente en cas d'inondation prolongée ;
- l'efficacité de ces engrais est réduite lorsque la quantité fournie par les filières pour des cultures de vente est partagée avec des cultures d'autoconsommation ou par manque de temps ou de savoir-faire des agriculteurs quant à leur application (enfouissement dans le sol, respect des dates d'application...) ;
- mais surtout, l'engrais minéral n'a aucun effet sur le taux de matière organique du sol, qui baisse chaque année sans apports réguliers et conséquents de fumure organique, ou si on ne peut pas pratiquer la jachère pendant une durée suffisante (entre 5 et 20 ans selon les situations et les types de végétation), ce qui devient impossible dans la plupart

des situations compte tenu des densités de population. Lorsque le taux de matière organique du sol (l'humus) est trop faible, le sol « fonctionne mal » (Sédogo, 1981) : il se compacte, limitant le développement des racines ; la macrofaune (les vers de terres, les termites utiles...) tend à disparaître ; les engrais sont plus rapidement lessivés par les grosses pluies.

Pourtant, sur la base de résultats d'expérimentation de longue durée sur la fertilisation des cultures (Pieri, 1989), la recherche a proposé, il y a plus 40 ans, de mettre l'accent sur la production et l'utilisation de la fumure organique (FO) (Fig. 2). Dans les années 1990, il était ainsi recommandé d'apporter une combinaison de fumure minérale (par exemple un mélange de 100 à 200 kg/ha de NPK et d'urée-N) et de fumure organique à raison de 2,5 t/ha/an de fumier ou de compost. Dans le contexte des sols tropicaux ferrugineux de savane pas trop sableux, cette dose permet de maintenir un taux de matière organique du sol (MOS) à un niveau acceptable (Berger, 1996 ; Pieri, 1989). Dans un premier temps, il a été demandé aux agro-éleveurs de valoriser les déjections de leurs animaux d'élevage, puis ultérieurement les résidus de culture et les ordures ménagères (fosse compostière et étable fumière, Fig. 3), comme au Mali dès la fin des années 1980 (Kanté, 2001). Ces recommandations sont toujours d'usage et ont fait l'objet récemment de nombreuses actions d'accompagnement des agriculteurs au Burkina Faso, au nord du Cameroun, au Togo... Ces techniques



Fig. 3. Étable fumièr à Madagascar. Photo P. Dugué.

Fig. 3. Manure pit in Madagascar.

ont progressivement été améliorées, par exemple par l'enrichissement des composts avec des phosphates naturels produits dans la région (Burkina Faso, Mali, Togo, Sénégal...) (Lompo *et al.*, 2018), l'accroissement de la taille des fosses et leur localisation dans les champs lointains (Vall *et al.*, 2023). Malgré un taux d'adoption croissant de ces innovations, leurs impacts sur la production et le maintien de la fertilité des sols restent limités :

- mobiliser uniquement des fumures animales s'avère insuffisant car la charge de ruminants excède rarement 0,5 Unité de bétail tropical (UBT) par hectare, ce qui correspond à une production annuelle de FO comprise entre 0,275 t (stabulation nocturne et simple stockage) et 0,5 t (apport régulier de litière à raison de 2 kg/jour par UBT) (Autfray *et al.*, 2012), loin des 2,5 t de FO recommandées par hectare cultivé ;
- collecter beaucoup de résidus de culture (paille, tiges de cotonnier...) ou des pailles de brousse (Fig. 4), voire des émondes d'arbres, pour produire une plus grande quantité de FO n'est pas réaliste, car ces biomasses ont bien d'autres usages (alimentation du bétail par stockage ou vaine pâture, combustible, matériau de construction, artisanat) et les capacités de transport sont limitées. De plus, la collecte de ces biomasses végétales se fait au moment des récoltes, période de faible disponibilité de la main-d'œuvre ;

- les règles d'utilisation du foncier sont parfois complexes et ne favorisent pas toujours des investissements à long terme chez les agriculteurs non-proprétaires de ce foncier (Saïdou *et al.*, 2007). Ainsi, un apport de fumure organique sur une terre louée conduit généralement le propriétaire à la reprendre l'année suivante pour bénéficier de l'effet précédent ; il est également impossible d'y planter des arbres fertilisants.

4 Diversifier les sources de biomasses végétales d'entretien de la fertilité des sols

Durant les dernières décennies, les forestiers ont promu l'agroforesterie, l'association des arbres aux cultures, pour, entre autres, entretenir la fertilité des sols cultivés. La jachère améliorée de moyenne durée par plantation d'arbres fertilisants (*Acacia senegal*, *Acacia polyacantha*, *Cassia siamea*, *Piliostigma reticulatum*) constitue une autre option technique (Harmand *et al.*, 2017), mais elle a rencontré peu de succès du fait du manque de terres cultivables et de la durée minimale de jachère – au moins 10 ans – pour obtenir un effet significatif sur la fertilité du sol. La plantation est coûteuse à réaliser et constitue un marquage du foncier qui peut entraîner des conflits entre ruraux. En revanche, les parcs arborés, surtout



Fig. 4. Récolte de paille de brousse au Sénégal pour nourrir le bétail et couvrir les sols compactés. Photo P. Dugué.

Fig. 4. Harvesting bush straw in Senegal to feed livestock and cover compacted soils.

ceux à base de *Faidherbia albida* (Fig. 5), se sont étendus ces 15 dernières années sur de grandes surfaces dans les régions où ils étaient déjà présents sur sols sableux et profonds : Extrême-Nord au Cameroun (Peltier *et al.*, 2021), région de Dosso au Niger (Boubacar, 2021), centre du Sénégal et plus localement au Mali et au Burkina Faso. Tous les agriculteurs et les agronomes de ces pays connaissent les effets spectaculaires de *Faidherbia albida* sur la fertilité du sol et le développement des céréales associées, sans compter son apport fourrager en saison sèche. La technique de régénération naturelle assistée (RNA) de ces parcs est peu coûteuse et très efficace dès que les agriculteurs fournissent des efforts, parfois soutenus par les projets (Gautier *et al.*, 2003), pour repérer et protéger les jeunes pousses de *faidherbia*. Cela a pu être facilité par un sarclage plus précis des céréales, un meilleur gardiennage des troupeaux et des règles collectives d'utilisation du foncier et des ressources naturelles. Mais de grandes régions ne peuvent pas bénéficier de cette technique pour des raisons pédologiques (besoin de sols profonds et sableux) ou du fait d'une mécanisation poussée de l'agriculture en traction animale et maintenant avec des tracteurs. Cette mécanisation est peu compatible avec une reconstitution des parcs arborés, à moins d'arriver à constituer des lignes d'arbres, ce qui n'est pas facile à obtenir avec la RNA. La préservation des souches d'arbres comme le *piliostigma* dans les jachères pose les mêmes obstacles à la mécanisation.

L'association des légumineuses aux céréales constitue le deuxième type d'associations de plantes favorables, entre autres, au maintien de la fertilité des sols, dès lors que la densité de la légumineuse est importante et que ces plantes fixent bien l'azote de l'air (Carsky *et al.*, 2003). Cette association était très fréquente dans le passé au Sahel avec les céréales de base (mil, sorgho) associées au niébé à faible densité. Dans ce cas, il s'agit plus de limiter l'infestation du niébé par des insectes et de mieux valoriser la terre disponible et le travail manuel. Lorsque la légumineuse est envahissante (niébé rampant, *Mucuna pruriens*), l'association devient délicate à réaliser en culture mécanisée avec des animaux de trait. Des travaux sur ce type d'associations culturales se poursuivent afin de définir les meilleures densités et géométries de culture et les fertilisations à utiliser dans ce cas (Ranaivoson *et al.*, 2023).

Au cours des années 1990, l'agriculture de conservation, appelée aussi système de culture sous couvert végétal (SCV), est alors apparue pour les agronomes comme une solution prometteuse et adaptable à toutes les situations d'Afrique subsaharienne (Scopel *et al.*, 2013). Ce système de culture combine trois principes : travailler au minimum le sol, couvrir le sol le plus longtemps possible, surtout en début de saison des pluies, et pratiquer la rotation ou l'association des cultures (si possible avec des légumineuses alimentaires comme le niébé, l'arachide, mais aussi fourragères ou de service comme les



Fig. 5. Arachide cultivée sous *Faidherbia albida* au Sénégal. Photo C. Dangleant.

Fig. 5. Groundnut grown under *Faidherbia albida* in Senegal.

stylosanthes, le mucuna, les crotalaires...). D'un point de vue agropédologique, les SCV sont très intéressants car les résidus de culture laissés au sol le protègent des pluies et du vent, et apportent progressivement de l'humus au sol (Fig. 6). Ces résidus de culture et de plantes de service sont progressivement décomposés par les microorganismes et la macrofaune du sol. Mais cette technologie tarde à se diffuser dans les régions où elle a été vulgarisée, comme les zones cotonnières du Mali, du Burkina Faso, de Côte d'Ivoire ou du Cameroun, malgré l'importance des moyens mobilisés (Dabire *et al.*, 2017; Dugué *et al.*, 2015, 2021). Les agriculteurs ayant commencé à adopter cette technique se heurtent à plusieurs difficultés :

- la concurrence entre les différentes utilisations des résidus de culture à l'échelle de l'exploitation (alimentation du bétail, construction, production de compost, couverture du sol) mais aussi entre les éleveurs – locaux ou transhumant –, les agro-éleveurs et les agriculteurs sans élevage partageant un même territoire ;
- le nécessaire recours à des herbicides lorsque, comme dans la majorité des cas, le mulch de couverture du sol n'est pas



Fig. 6. Sorgho en agriculture de conservation au Zimbabwe. Photo E. Torquebiau.

Fig. 6. Sorghum under conservation agriculture in Zimbabwe.

suffisamment épais pour empêcher la levée des mauvaises herbes. Cet intrant est de plus en disponible sur les marchés locaux mais ses impacts sont mal connus, à la fois sur l'eau, la biodiversité et la santé des sols, du bétail, et des agriculteurs et agricultrices. L'application des herbicides, mais aussi des autres pesticides, se fait généralement sans respect des dosages (étiquettes illisibles, en langue étrangère...) et sans protections. Le sarclage ou le buttage mécaniques ne sont plus possibles du fait des restes de pailles au sol et le sarclage manuel devient nécessaire alors qu'il est coûteux en travail et très fatigant. Les SCV sont donc vraiment fonctionnels, productifs et peu coûteux en travail lorsque le mulch de couverture du sol est épais. Dans ce cas, leur contribution à l'entretien de la fertilité du sol est effective ; par ailleurs ils limitent les pertes en eau par ruissellement et évaporation. Mais ce cas de figure est rarement observé sur le terrain, surtout en zone sèche ;

- l'absence de sécurité foncière pour certains agriculteurs rend difficile tout engagement de leur part pour améliorer la fertilité des terres louées. Cela limite d'abord la plantation des arbres fertilisants ainsi que la construction d'aménagements antiérosifs, mais limite aussi l'adoption de l'agriculture de conservation qui doit nécessairement être raisonnée sur plusieurs années, voire une décennie (Dugué *et al.*, 2015) ;
- enfin la technicité, la disponibilité en travail ou les équipements requis (semoir manuel ou attelé de semis-direct) font défaut, en particulier pour ce type de semoir coûteux et quasiment introuvable en Afrique subsaharienne.

5 Corriger les carences minérales et apporter les amendements essentiels dans certaines situations

Seules les régions rurales très peu peuplées peuvent encore envisager de gérer durablement la fertilité des sols sans engrais de synthèse et organiques, mais avec la pratique de la jachère, suffisamment longue et bien répartie sur tout le territoire cultivé. Ailleurs, l'usage des fumures organiques (d'origine rurale mais aussi urbaine – déchets agro-industriels et ménagers) peut suffire dans les situations peu peuplées ou lorsque les flux de FO sont suffisamment importants, comme dans les exploitations des éleveurs et celles des maraîchers. Mais dans la majorité des cas, le recours aux engrais de synthèse est indispensable tant que les carences du sol ne sont pas corrigées, en premier lieu en phosphore. L'autre carence majeure – celle en azote – peut être limitée par des apports conséquents en FO et l'insertion de légumineuses herbacées et arborées dans les systèmes de culture. Mais il faut rappeler que ces FO produites localement sont aussi carencées en phosphore et en azote car elles sont issues de végétations naturelles et cultivées qui poussent sur ces mêmes sols carencés. La carence en phosphore peut être corrigée par l'apport chaque année d'engrais de fond, comme ce fut le cas en Europe dans les années 1950 à 1980. Mais l'Afrique subsaharienne pourrait mieux valoriser ses ressources en minéraux fertilisants comme les gisements de phosphate naturel, mais aussi de dolomie et de chaux, tous deux riches en calcium et magnésium. De nombreux travaux de recherche ont porté sur la valorisation

des phosphates naturels, en Afrique de l'Ouest en particulier (Bationo *et al.*, 1998 ; Lompo *et al.*, 2018), mais le manque de politiques publiques n'a pas permis de les utiliser à grande échelle. Les carences des sols en calcium et en magnésium ont surtout pour effet d'acidifier les sols, avec l'apparition d'une toxicité aluminique pour la plupart des cultures (Pieri, 1989). L'apport massif de FO contribue à réduire cette acidification, mais l'épandage de chaux ou de dolomie broyée, issues des gisements locaux, reste la seule pratique efficace. Ces amendements doivent être utilisés à forte dose (selon le niveau d'acidification) et les coûts d'extraction, de broyage et surtout de transport sont très onéreux pour des agriculteurs peu soutenus financièrement par leur gouvernement.

6 Limiter le ruissellement et assurer une gestion concertée des ressources en eau et en terre

Des techniques de conservation de l'eau et du sol ont également été mises en avant dans les zones où le ruissellement et l'érosion compromettaient la production agricole. En effet, il est nécessaire de raisonner en même temps les besoins en eau des cultures et leur fertilisation, ainsi que la gestion de la fertilité des sols à moyen et long terme. Une culture sans stress hydrique se développera dans de bonnes conditions si son système racinaire se développe sans contrainte (fertilité physique du sol) et si elle trouve dans le sol les nutriments dont elle a besoin. Dans certaines régions semi-arides d'Afrique de l'Ouest (300 à 700 mm/an), les agriculteurs ont beaucoup progressé dans ce domaine avec des techniques de conservation de l'eau pluviale comme le zaï, les cordons pierreux, la culture sur demi-lunes et, plus localement, le paillage des sols compactés (Botoni et Reij, 2009). En Afrique de l'Est, la technique des micro-bassins est en voie d'adoption (Nicol *et al.*, 2015).

Au-delà du besoin de gérer concomitamment l'alimentation en eau et en nutriments des cultures, il faut aussi considérer qu'une bonne maîtrise du ruissellement, principale cause de perte en eau agricole, a des effets positifs sur la fertilité du sol. Tout d'abord, il est la cause première du processus d'érosion qui s'accompagne de pertes importantes du sol en éléments fins (Fig. 7). L'érosion sélective causée par un ruissellement en nappe est souvent peu prise en compte car peu visible, mais elle appauvrit sur d'importants espaces l'horizon de surface en argile et matières organiques humifiées. L'érosion est aussi à l'origine de la dégradation de la fertilité physique des sols cultivés, en particulier l'ensablement des parcelles en bas de topo-séquence et la compaction de surface sur les glacis (avec l'apparition de sols dénudés appelés *zipellé* sur le plateau central et au Yatenga au Burkina Faso). Enfin, la réduction de l'infiltration d'eau dans le sol entraîne rapidement une dégradation de la végétation spontanée dans l'espace cultivé et le processus de désertification. La gestion de la fertilité des sols cultivés n'est pas seulement une question d'apports de fertilisants, mais doit avant tout être raisonnée par une approche globale de gestion conservatoire des eaux et des terres (Roose *et al.*, 2017). Ces pratiques de gestion de l'eau pluviale ont été largement adoptées dans les régions (i) lorsque les besoins d'aménagement étaient vitaux du fait d'un fort ruissellement (des pertes importantes en terre, en surface



Fig. 7. Maïs sur sol dégradé par l'érosion hydrique au Cameroun. Photo E. Torquebiau.

Fig. 7. Maize on soil degraded by water erosion in Cameroon.

cultivable et en eau) (Botoni et Reij, 2009), (ii) lorsque les communautés villageoises se sont organisées pour s'entraider et définir des règles de réalisation des aménagements, et (iii) quand des appuis conséquents ont été apportés par les politiques publiques pour faciliter les travaux (études topographiques, transports motorisés, formation...). Toutefois, une large adoption de ces pratiques d'aménagement reste contrainte par le manque de cohésion sociale (par exemple dans les situations d'arrivée de paysans migrants), la faiblesse des financements pour le secteur rural et la montée de l'insécurité au Sahel.

7 Approche systémique de la gestion des sols et intensification agroécologique

On a rappelé ci-dessus les contraintes de mise en œuvre de chaque ensemble de techniques proposé par la recherche, les développeurs et les paysans innovateurs permettant d'assurer une bonne gestion de la fertilité des sols. Toutes ces innovations techniques sont-elles vraiment efficaces et opérationnelles? Les projets qui les ont mises au point et vulgarisées ont-ils été suffisamment efficaces et leur financement a-t-il été à la hauteur des défis à relever et des attentes des agriculteurs? Sans traiter ici de la question de l'évaluation des effets et des impacts des programmes de développement, on peut affirmer que plusieurs générations de paysans et paysannes ont pris conscience de l'ampleur de la baisse de la fertilité des sols et, en même temps, ont pu acquérir savoirs et savoir-faire et procéder à des changements de grande ampleur. Par exemple, les résidus de culture ne sont quasiment plus brûlés au champ (ce qui limite les pertes de matière organique et l'émission de gaz à effet de serre), la protection des jeunes arbres est plus fréquente, la production de fumure organique augmente, surtout dans les exploitations bien équipées en charrette et disposant de beaucoup de main-d'œuvre. Enfin, des techniques de conservation de l'eau et du sol sont largement adoptées quand le ruissellement et l'érosion compromettent la production agricole.

Cependant, comment aborder la question de la gestion durable des sols dans le contexte des transitions agroécologiques, transitions devenues nécessaires au devenir des agricultures d'Afrique subsaharienne? Le concept d'intensification agroécologique (Griffon, 2009) fournit un cadre pour penser de manière systémique les combinaisons techniques, les méthodes d'intervention et les politiques nécessaires à la durabilité des sols. Une des questions largement débattues aujourd'hui est de préciser la place des engrais minéraux, mobilisant beaucoup d'énergies fossiles, dans les systèmes de production en transition (Cochet, 2022; Falconnier *et al.*, 2023; Senghor *et al.*, 2023).

Avant d'aborder la façon de combiner les pratiques de fertilisation et d'entretien des terres, en particulier la combinaison engrais de synthèse et organiques, il convient de rappeler la situation spécifique des agricultures familiales africaines : carences fréquentes des sols en phosphore et en MOS, donc en azote, minéralisation rapide de la MOS, érosion hydrique liée à la forte intensité des pluies. Réduire ces carences est un défi majeur qui est souvent oublié de la construction des transitions agroécologiques devenues nécessaires dans le contexte bioclimatique et économique actuel.

Il faut tout d'abord rappeler que l'usage raisonné de l'engrais minéral permet rapidement d'accroître les rendements si l'alimentation en eau des cultures est assurée. Ce gain s'accompagne aussi d'une augmentation du volume du système racinaire et des résidus de culture qui vont améliorer l'alimentation du bétail, et donc la production de FO, contribuer à la couverture du sol et enrichir le sol en humus. Cependant, si dans bien des cas l'augmentation de l'usage des engrais minéraux en Afrique devrait être sans nuisances majeures pour l'environnement du fait des doses actuelles encore très faibles, mettre l'accent uniquement sur la vulgarisation et l'accès à cet intrant serait une erreur pour les raisons évoquées ci-dessus. De plus, orienter les politiques publiques et l'action des services agricoles uniquement dans cette voie entraînerait une relation de dépendance des agricultures au secteur des engrais, secteur sur lequel leurs organisations professionnelles n'ont aucune prise en termes de prix d'achat et de facilité d'approvisionnement. Les crises successives (Covid, Ukraine aujourd'hui, raréfaction des énergies fossiles demain) se sont traduites par un accès de plus en plus difficile aux engrais de synthèse par les agriculteurs.

L'agroécologie est promue de façon croissante comme une alternative prometteuse en Afrique subsaharienne, avec néanmoins des débats sur le réalisme de cette alternative. Ces débats proviennent souvent d'un raccourci fait entre pratiques agroécologiques et pratiques traditionnelles qui seraient agroécologiques par défaut (Mugwanya, 2019). Néanmoins, des pratiques traditionnelles conduisant à une dégradation de la fertilité du sol ne peuvent être considérées aujourd'hui comme agroécologiques, par exemple la défriche brûlée était compatible avec la durabilité du système de culture avant le changement climatique et dans des territoires à faible densité de population. De plus, l'agroécologie ne bannit pas l'utilisation des engrais minéraux, elle invite à réduire leur usage dans des systèmes déjà intensifiés (Wezel *et al.*, 2020). Cet usage est d'autant plus nécessaire lorsque les sols présentent une carence minérale importante (en azote et phosphore le plus souvent). Toute la difficulté est de trouver le

bon niveau d'utilisation des engrais minéraux pour ne pas entraîner les agriculteurs dans un système de dépendance trop forte à cet intrant (comme c'est le cas aujourd'hui avec les herbicides). Dans la plupart des situations en Afrique, l'agroécologie invite donc à combiner l'utilisation de l'engrais minéral (lorsque celui-ci s'avère indispensable) avec des pratiques basées sur le recyclage des nutriments et de la biomasse, la synergie entre les différentes composantes des agroécosystèmes, le renforcement de l'agrobiodiversité et la diversification des systèmes de production. Plus globalement il n'y a pas une technique ou un système technique « passe-partout » et idéal, mais il faut raisonner les combinaisons de techniques de gestion de la fertilité des terres en fonction du type de sol, des contraintes majeures à la production (déficit en eau et/ou en nutriments, manque d'équipement et de force de travail) et du climat, mais aussi et avant tout des objectifs et stratégies des agriculteurs (agriculture et/ou élevage, niveau d'intensification). L'enjeu est également de combiner innovations techniques et organisationnelles à différents niveaux – le champ cultivé, l'exploitation agricole, le terroir villageois et la petite région – dans un objectif de produire plus sans dégrader la fertilité du sol et l'environnement. L'agroécologie invite aussi à combiner le socle de connaissances locales des producteurs avec celles issues de la recherche (sur de nouvelles variétés de légumineuses, de nouvelles modalités d'intégration agriculture-élevage, de nouvelles modalités de contrôle des ravageurs, des techniques revisitées pour la régénération forestière assistée...). Pour arriver à ces résultats, il est nécessaire de revoir les méthodes et postures des chercheurs et décideurs, toujours trop descendantes vis-à-vis des autres acteurs, et d'engager des approches de co-conception nécessitant engagement et responsabilisation des agriculteurs (Vall *et al.*, 2016; Bakker *et al.*, 2022). Pour cela il faut disposer d'un personnel nombreux, suffisamment rémunéré et bien formé : cadres agricoles, ONG, responsables agricoles, paysans formateurs...

8 Quelles politiques publiques pour une gestion durable des sols en Afrique subsaharienne ?

L'émergence de transitions agroécologiques incluant la gestion durable des sols d'Afrique subsaharienne pose également la question du type de politiques publiques et des mesures d'accompagnement nécessaires. Le financement des programmes d'appui à la gestion de la fertilité du sol est contraint par le niveau d'endettement des pays et la mauvaise gouvernance (sous-budgétisation des politiques agricoles malgré la hausse du prix des minerais et des énergies fossiles, faible efficacité des structures d'appui...). Toutefois, les pratiques agroécologiques exposées ci-dessus contribuent à stocker du carbone dans le sol et les arbres des champs (Razafimbelo *et al.*, 2018). Ce stockage constitue une possibilité d'atténuation du changement climatique, mais l'impact de ces pratiques dépendra de leur efficacité en termes de stockage du carbone et de l'étendue spatiale et numérique de leur adoption. Ainsi, si le stockage de carbone s'avérait conséquent, le financement de ces politiques publiques pourrait plus facilement être assuré par la communauté internationale.

Il s'agit en premier lieu de faire évoluer les programmes de recherche, souvent focalisés sur un seul modèle technique considéré comme « le bon », sans prendre en compte l'ensemble des ressources des territoires ou des contraintes soulevées par les agriculteurs. De nombreux domaines de recherche spécifiques à la fertilité des sols doivent être renforcés, comme la microbiologie des sols, la santé des plantes, la fertilité physique du sol, la mécanisation agricole et la gestion du travail... Les travaux sur le microbiote des sols et leur valorisation par les agronomes ouvrent de nouvelles perspectives comme celles du renforcement des défenses des plantes et une meilleure valorisation des nutriments apportés ou contenus dans le sol : sélection de souches microbiennes locales et utiles aux cultures, fabrication et apport de litière forestière fermentée (LIFOER), de compost bokashi... (Marois *et al.*, 2023; Noumsi-Foamouhoue *et al.*, 2023). Il s'agit également pour la recherche de mieux considérer les dimensions techniques (fertilité des sols associée aux effets sur la santé humaine, avec par exemple la diversification de la diète *via* des légumineuses) et environnementales (résilience face au changement climatique) des pratiques, et les potentiels impacts sur les dimensions économiques et sociales.

Concomitamment, il convient de rendre les agriculteurs plus autonomes et mieux équipés, mais cela demande de renforcer les capacités des acteurs à différents niveaux de décision. En premier lieu, les agriculteurs doivent acquérir les bases de connaissance pour apprécier les atouts et limites des technologies prometteuses. Leurs organisations doivent être renforcées et plus opérationnelles pour qu'elles jouent un rôle actif dans la production de connaissances innovantes, pour aménager les terroirs villageois ou développer des systèmes de crédit/épargne combinant l'achat d'intrants, la commercialisation des surplus de récolte et des services sociaux de base (fonds locaux pour l'alphabétisation et la santé). Une plus grande autonomie des agriculteurs implique de renforcer les programmes de sécurisation foncière afin de garantir aux paysans locataires de bénéficier à moyen et long terme des fruits de leur investissement dans la gestion de la fertilité du sol. Cela dépasse la simple clarification et l'enregistrement du droit de propriété et nécessite de proposer des baux agricoles sur 5 ou 10 ans, et si possible davantage, ou d'autres arrangements durables à cette catégorie de producteurs et aux propriétaires terriens (Saïdou *et al.*, 2007).

Pour cela l'appui-conseil aux agriculteurs doit aussi être renouvelé, les conseillers agricoles être plus présents dans les champs avec les agriculteurs. Mais cela nécessite des politiques publiques qui aillent au-delà de la seule subvention des engrais minéraux. La mise en œuvre de politiques ambitieuses se heurte au manque de moyens de la plupart des Etats, mais aussi d'une mauvaise utilisation des fonds disponibles, tant au niveau national qu'international. Au-delà de cette contrainte majeure, diverses questions méthodologiques se posent. Comment intégrer les dimensions techniques, sociales et environnementales de l'agroécologie dans les méthodes de conseil (Rigourd *et al.*, 2022) ? Quelles mesures incitatives pourraient faciliter les différents travaux nécessaires à la restauration et au maintien de la fertilité des sols ? Comment faciliter les coordinations entre types de producteurs pour qu'il soit possible pour certains de planter des arbres ou de préserver le mulch de couverture du sol sur une partie de

leurs champs, sans que des troupeaux viennent les détruire ? Des lois et règlements existent dans certains domaines mais il s'agit surtout d'établir un contrat social entre catégories de producteurs, ainsi qu'entre eux et les autorités locales et nationales, pour aboutir à une gestion concertée de l'eau, de la biomasse et du sol dans ces régions.

Remerciements

Cet article actualisé reprend un texte de P. Dugué, paru en mars 2015 dans la revue AGRIDAPE, dont la publication a cessé. Dugué P. 2015. Opinion : Point de vue d'un agronome pour une gestion durable des sols en Afrique de l'Ouest. AGRIDAPE 31(1). <https://www.iedafrique.org/OPINION-Point-de-vue-d-un-agronome.html>.

Références

- Autfray P, Sissoko F, Falconnier G, Ba A, Dugué P. 2012. Usages des résidus de récolte et gestion intégrée de la fertilité des sols dans les systèmes de polyculture élevage : étude de cas au Mali-Sud. *Cahiers Agricultures* 21(4): 225–234. <https://doi.org/10.1684/agr.2012.0568>.
- BAD. 2021. Le secteur des engrais en Afrique et les 5 priorités de la Banque. <https://www.afdb.org/fr/news-and-events/le-secteur-des-engrais-en-afrique-et-les-5-priorites-de-la-banque-36834>.
- Bakker T, Dugué P, Roesch K, Phillips S, Poisot AS. 2022. Comment utiliser la démarche champ-école pour accompagner les transitions agroécologiques des agricultures familiales des pays du Sud ? Rome (Italie): FAO, 54 p.
- Bationo A, Koala S, Ayuk E. 1998. Fertilité des sols pour la production céréalière en zone sahélo-soudanienne et valorisation des phosphates naturels. *Cahiers Agricultures* 7(5), 365–371. <https://revues.cirad.fr/index.php/cahiers-agricultures/article/view/30109>.
- Berger M. 1996. Fumure organique : des techniques améliorées pour une agriculture durable. *Agriculture et Développement* (10): 37–46. <https://agritrop.cirad.fr/388322/>.
- Botoni E, Reij C. 2009. La transformation silencieuse de l'environnement et des systèmes de production au Sahel: Impacts des investissements publics et privés dans la gestion des ressources naturelles. Ouagadougou, Burkina Faso and Amsterdam (The Netherlands): CILS and Vrije Universiteit Amsterdam, 61 p.
- Boubacar AK. 2021. Ressources arborées des territoires cultivés et leur importance dans les stratégies familiales de substance des exploitants agricoles dans le bassin d'approvisionnement en bois de Niamey. Thèse de géographie. Toulouse (France): Université Toulouse 2, UMR Temps, Espaces, Sociétés, Cultures.
- Carsky R, Douthwaite B, Manyong V, Sanginga N, Schulz S, Vanlauwe B, *et al.* 2003. Amélioration de la gestion des sols par l'introduction de légumineuses dans les systèmes céréaliers des savanes africaines. *Cahiers Agricultures* 12(4), 227–233. <https://revues.cirad.fr/index.php/cahiers-agricultures/article/view/30394>.
- Chapuis-Lardy L, Badiane N, Ndèye Y, Assigbetse K, Diédhiou I, Balaya R, *et al.* 2019. Les cultures vivrières associées aux arbustes natifs: un modèle adapté au climat sahélien. In : *Agroforesterie et services écosystémiques en zone tropicale*. Seghier J, Harmand J-M, eds. Versailles: Ed. Quae, 187–198.
- Cochet H. 2022. Transition agroécologique et intrants de synthèse : les défis de la fertilisation et des pesticides. *Grain de sel* 82-83: 46–48. <https://www.inter-reseaux.org/publication/n82-83-environnement-et-agriculture-meilleurs-ennemis/transition-agroecologique-et-intrants-de-synthese-les-defis-de-la-fertilisation-et-des-pesticides/>.
- Dabire D, Andrieu N, Djamen P, Coulibaly K, Posthumus H, Diallo A, *et al.* 2017. Operationalizing an innovation platform approach for community-based participatory research on conservation agriculture in Burkina Faso. *Experimental Agriculture* 53(3): 460–479. <https://doi.org/10.1017/S0014479716000636>.
- Deguine JP, Fok M, Gaborel C. 2000. Rôle et place de la recherche pour le développement des filières cotonnières en évolution en Afrique. Montpellier (France): Cirad, 238 p.
- Dugué P. 2022. La complexité de la transition agroécologique en Afrique: l'exemple des herbicides dans les zones cotonnières au Cameroun. Montrouge: Fondation pour l'agriculture et la ruralité dans le monde. <http://www.fondation-farm.org/zoe.php?s=blogfarm>.
- Dugué P, Harmand JM, Naudin K, Vall E, Madam Dogo A, Danganobé S, *et al.* 2021. Évaluation agro-socioéconomique et environnementale des techniques agroécologiques (agriculture, élevage et foresterie) diffusées dans le cadre du PASGIRAP. Montpellier (France): Cirad, 134 p.
- Dugué P, Djamen P, Faure G, Le Gal PY. 2015. Dynamiques d'adoption de l'agriculture de conservation dans les exploitations familiales : de la technique aux processus d'innovation. *Cahiers Agricultures* 24: 60–68. DOI : [10.1684/agr.2015.0748](https://doi.org/10.1684/agr.2015.0748).
- Ehui S, Pender J. 2005. Resource degradation, low agricultural productivity, and poverty in sub-Saharan Africa: Pathways out of the spiral. *Agricultural Economics* 32: 225–242. <https://doi.org/10.1111/j.0169-5150.2004.00026.x>.
- Falconnier G, Cardinael R, Corbeels M, Baudron F, Chivenge P, Couedel A, *et al.* 2023. The input reduction principle of agroecology is wrong when it comes to mineral fertilizer use in sub-Saharan Africa. *Outlook on Agriculture* 52(3): 311–326. <https://doi.org/10.1177/00307270231199795>.
- FAO. 2001. Soil and nutrient management in sub-Saharan Africa in support of the Soil Fertility Initiative. Land and Water Development Division. AGL/MISC/31/01. Rome (Italy): FAO, 376 p.
- Floret C, Serpantié G. 1993. La jachère en Afrique de l'Ouest. Paris (France): Éditions de l'ORSTOM, coll. Colloques et Séminaires, 494 p.
- Gautier D, Mana J, Roquencourt A, Tapsou T, Njiti C. 2003. *Faut-il poursuivre l'opération Faidherbia du DPGT au Nord-Cameroun? Savanes africaines: des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis, Actes du colloque, mai 2002, Garoua, Cameroun*. Prasad, N'Djamena, Tchad. Montpellier (France): Cirad. <https://hal.science/hal-00133790/document>.
- Gayibor NL. 1986. Écologie et histoire : les origines de la savane du Bénin (Ecology and History: The Origins of the Benin Savanna). *Cahiers d'Études africaines* 101-102: 13–41. <https://doi.org/10.3406/cea.1986.216313-41>.
- Griffon M. 2009. Qu'est-ce que l'agriculture écologiquement intensive et à haute valeur environnementale ? *Pour* 202-203: 39–47. <https://doi.org/10.3917/pour.202.0117>.
- Harmand JM, Forkong Njiti C, Bernhard-Reversat F, Oliver R, Peltier R. 2017. Effets de jachères agroforestières sur la réhabilitation et la productivité de sols ferrugineux tropicaux des savanes soudanaises du Nord-Cameroun. In: Roose E, ed. *Restauration de la productivité des sols tropicaux et méditerranéens : contribution à l'agroécologie*. Marseille (France): IRD Éditions, pp. 117–126. <https://doi.org/10.4000/books.irdeitions.24204>.
- IFPRI. 2016. Agricultural productivity in Africa. Trends, Patterns, and Determinants. Washington (USA): IFPRI, 388 p. <https://doi.org/10.2499/9780896298811>.
- Kanté S. 2001. Gestion de la fertilité des sols par classe d'exploitation au Mali-Sud. Thèse de doctorat. Wageningen (Pays-Bas): Wageningen University and Research, 243 p.

- Lompo F, Bationo A, Sedogo MP, Bado VB, Hien V, Ouattara B. 2018. Role of local agro-minerals in mineral fertilizer recommendations for crops: examples of some West Africa phosphate rocks. In : Bationo A *et al.*, eds. *Improving the Profitability, Sustainability and Efficiency of Nutrients Through Site Specific Fertilizer Recommendations in West Africa Agro-Ecosystems*. Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58789-9_9.
- Marchal JY. 1982. L'option pour l'« extensif ». L'évolution de l'agriculture mossi (Haute-Volta). *Economie Rurale* 147-148: 63–67. <https://doi.org/10.3406/ecoru.1982.2840>.
- Marois J, Lerch TZ, Dunant U, Farnet Da Silva AM, Christen P. 2023. Chemical and microbial characterization of fermented forest litters used as biofertilizers. *Microorganisms* 11(2), 306. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11020306>.
- Mugwanya. N. 2019. Agroecology is a 'dead end' for African farmers trying to achieve food security. Genetic Literacy Project Blog. <https://geneticliteracyproject.org/2019/03/18/viewpoint-agroecology-is-a-dead-end-for-african-farmers-who-need-to-grow-more-food/>.
- Nicol A, Langan S, Victor M, Gonsalves J. (Eds.) 2015. Water-smart agriculture in East Africa. Colombo (Sri Lanka); Kampala (Uganda): International Water Management Institute (IWMI), CGIAR Research Program on Water, Land and Ecosystems (WLE); Global Water Initiative East Africa (GWI EA), 352 p. <https://doi.org/10.5337/2015.203>.
- Noumsi-Foamouhoue E, Legros S, Fernandes P, Thuriès L, Assigbetse K, Kane A, Feder F, Médoc JM. 2023. Local beneficial microorganisms impact carbon and nitrogen mineralization in a lixisol incubated with organic waste products. *Agronomy (Basel)*, 13(11): 24. <https://doi.org/10.3390/agronomy13112791>.
- Peltier R, Akodewou A, Harmand JM. 2021. Diagnostic des pratiques agroforestières et de gestion des ressources naturelles dans la région du Nord (Cameroun) et proposition d'actions en matière de recherche et de vulgarisation. Montpellier (France): CIRAD, 46 p.
- Pieri C. 1989. Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara. Montpellier (France): Édition CIRAD-IRAT, 452 p.
- Ranaivoson LB, Ripoché A, Affholder F, Falconnier G, Leroux L. 2023. Sécurité alimentaire en Afrique : cultiver des légumineuses pour utiliser moins d'engrais minéraux ? Paris (France): The Conversation, 6 p. <https://theconversation.com/securite-alimentaire-en-afrique-cultiver-des-legumineuses-pour-utiliser-moins-dengrais-mineraux-197256>.
- Razafimbelo TM, Andriamananjara A, Rafolisy T, Razakamanarivo H, Masse D, Blanchart E, *et al.* 2018. Impact de l'agriculture climato-intelligente sur les stocks de carbone organique du sol à Madagascar. *Cahiers Agricultures* 27: 35001. <https://doi.org/10.1051/cagri/2018017>.
- Rigourd C, Djamen P, Idrissou L, Halley des Fontaines D, Sempore AW, Benoit N, *et al.* 2022. Le conseil Agricole et l'accompagnement des transitions agroécologiques : une analyse transnationale des dynamiques, défis et perspectives dans cinq pays d'Afrique de l'Ouest. Ouagadougou (Burkina Faso): RESCAR-AOC, 66 p.
- Roose E, Zougmore R, Stroosnijder L, Dugué P, Bouzou M. 2017. Techniques traditionnelles de restauration de la productivité des sols dégradés en régions semi-aride d'Afrique occidentale. In : Roose E, ed. *Restauration de la productivité des sols tropicaux et méditerranéens : contribution à l'agroécologie*. Marseille (France): IRD Éditions, pp. 491–517. <https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.24435>.
- Saïdou A, Adjei-Nsiah S, Kossou D, Sakyi-Dawson O, Kuyper TW. 2007. Sécurité foncière et gestion de la fertilité des sols : études de cas au Ghana et au Bénin. *Cahiers Agricultures* 16(5), 405–412. <https://doi.org/10.1684/agr.2007.0131>.
- Scopel E, Triomphe B, Affholder F, Silva F, Corbeels M, Xavier J, *et al.* 2013. Conservation agriculture cropping systems in temperate and tropical conditions, performances and impacts. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 33: 113–130. <https://doi.org/10.1007/s13593-012-0106-9>.
- Sédogo MP. 1981. Contribution à l'étude de la valorisation des résidus culturaux en sol ferrugineux et sous climat tropical semi-aride. Thèse de doctorat. Nancy (France): INPL, 135 p.
- Senghor Y, Balde AB, Affholder F, Falconnier G, Leroux L. 2023. Réconcilier engrais minéraux et agroécologie, une piste pour nourrir les populations d'Afrique de l'Ouest. Paris (France): The Conversation, 7 p. <https://theconversation.com/reconcilier-engrais-mineraux-et-agroecologie-une-piste-pour-nourrir-les-populations-dafrique-de-louest-214183>.
- Smektala G, Peltier R, Sibelet N, Leroy M, Manlay R, Njiti CF, *et al.* 2005. Parcs agroforestiers sahéliens : de la conservation à l'aménagement. *VertigO* 6(2): 13. <https://doi.org/10.4000/vertigo.4410>.
- Tittonell P, Giller KE. 2013. When yield gaps are poverty traps: The paradigm of ecological intensification in African smallholder agriculture. *Field Crops Research* 143: 76–90. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.10.007>.
- Tourte R. 2019. Histoire de la recherche agricole en Afrique tropicale francophone et de son agriculture, de la préhistoire aux temps modernes. Paris (France): L'Harmattan, 1288 p.
- Vall E, Orounladji BM, Berre D, Assouma MH, Dabire D, Sanogo S, *et al.* 2023. Crop-livestock synergies and by-products recycling: Major factors for agroecology in West African agro-sylvo-pastoral systems. *Agronomy for Sustainable Development* 43: 70. <https://doi.org/10.1007/s13593-023-00908-6>.
- Vall E, Marre-Cast L, Kamgang HJ. 2017. Chemins d'intensification et durabilité des exploitations de polyculture élevage en Afrique subsaharienne : contribution de l'association agriculture-élevage. *Cahiers Agricultures* 26(2): 25006. <https://doi.org/10.1051/cagri/2017011>.
- Vall E, Chia E, Blanchard M, Koutou M, Coulibaly K, Andrieu N. 2016. La co-conception en partenariat de systèmes agricoles innovants. *Cahiers Agricultures* 25(1): 15001. <https://doi.org/10.1051/cagri/2016001>.
- Wanzala MN. 2010. Seventh progress report. Implementation of the Abuja Declaration on fertilizer for an African Green Revolution. Abuja (Nepad): Union Africaine, 57 p.
- Wezel A, Herren BG, Kerr RB, Barrios E, Gonçalves ALR, Sinclair F. 2020. Agroecological principles and elements and their implications for transitioning to sustainable food systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 40: 1–13. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00646-z>.

Fertilité des sols et environnement : quelques outils, indicateurs et approches récentes

Fertilité des sols pour la production céréalière en zone sahélo-soudanienne et valorisation des phosphates naturels

André Bationo, Saidou Koala, Élias Ayuk

La productivité agricole en Afrique sub-saharienne, et spécialement en Afrique de l'Ouest, devra s'accroître substantiellement dans la prochaine décennie pour permettre d'éviter une immense crise alimentaire. Pour atteindre la sécurité alimentaire et une croissance durable, les systèmes de vulgarisation et les centres internationaux et nationaux de recherche agronomique devront multiplier leurs efforts de recherche et développement pour le transfert aux paysans de technologies à hauts rendements.

La disparité entre l'accroissement de la population et la production alimentaire est en grande partie responsable de cette situation : la population s'accroissait de 3 % par an, tandis que la quantité et la qualité des ressources naturelles et des terres cultivables par habitant déclinaient [1].

L'étendue du problème a fait l'objet de discussion à la Banque Mondiale et à la FAO. Dans un discours au Forum des chefs d'États africains en 1990, Robert McNamara a attiré l'attention sur le fait que la stagnation agricole, l'explosion démographique et la dégradation de

l'environnement sont des menaces pour la sécurité alimentaire et pour une croissance durable en Afrique.

Une agriculture extensive, sans restauration de la fertilité, a progressivement diminué l'offre alimentaire des sols africains. La FAO [2] a caractérisé « d'agriculture minière » le prélèvement continu et inexorable des éléments nutritifs du sol par les cultures, sans compensation par les engrais. Les bilans en éléments nutritifs sont donc négatifs pour plusieurs systèmes de production et la situation de l'agriculture minière en Afrique sub-saharienne est alarmante puisqu'elle prélèvera jusqu'à 22 kg de N, 6 kg de P_2O_5 et 18 kg de K_2O par hec-

tare en l'an 2000, avec une perte nette de 49 kg.ha^{-1} (soit environ 9,3 millions de tonnes d'éléments nutritifs prélevés des systèmes agricoles en Afrique sub-saharienne en 1983) [2] (tableau 1).

On estime que les prélèvements annuels d'éléments nutritifs en Afrique vont atteindre 60 kg.ha^{-1} (ou 13,2 millions de tonnes d'éléments) en l'an 2000. Au Burkina Faso, en 1983, sur un total de 6,6 millions d'hectares de superficie cultivée, les éléments prélevés représentaient une perte totale de 95 000 tonnes de N, 28 000 tonnes de P_2O_5 et 79 000 tonnes de K_2O , équivalant à 159 millions de dollars US d'engrais NPK. Au Mali, les paysans tirent en moyenne 40 % de leur

Tableau 1

Pertes en N, P et K pour quelques pays de l'Afrique de l'Ouest

Pays	Surface arable $\times 10^3 \text{ ha}$	Surface en jachère (%)	(kg.ha ⁻¹ de terre cultivée)		
			N	P	K
Bénin	2 972	62	- 14	- 1	- 10
Burkina Faso	6 691	50	- 14	- 2	- 10
Gambie	326	29	- 14	- 3	- 16
Mali	8 015	72	- 8	- 1	- 6
Mauritanie	846	79	- 7	0	- 5
Niger	10 985	47	- 16	- 2	- 11
Nigeria	32 813	18	- 34	- 4	- 24
Sénégal	5 235	53	- 12	- 2	- 10
Togo	1 503	49	- 18	- 2	- 12

N, P, and K losses in a few West African countries

A. Bationo : IFDC/ICRISAT, BP 12404, Niamey, Niger.
S. Koala : Programme sur les zones en marge du désert, ICRISAT, BP 12404, Niamey, Niger.
E. Ayuk : ICRAF/ICRISAT, BP 320 Bamako, Mali.

Tirés à part : A. Bationo

Tableau 2

Effets des engrais N, P et K sur l'utilisation de l'eau (UE), la production de grain (P) et l'utilisation efficiente de l'eau (UEE) par le mil cultivé sur trois sites au Niger (saison culturale 1985)

Sites	Pluie (mm)	Traitements	UE (mm)	P (kg.ha ⁻¹)	UEE (kg.ha ⁻¹ .mm ⁻¹)
Sadoré	543	Avec engrais	382	1 570	4,14
		Sans engrais	373	460	1,24
Dosso	583	Avec engrais	400	1 700	4,25
		Sans engrais	381	780	2,04
Bengou	711	Avec engrais	476	2 230	4,68
		Sans engrais	467	1 440	3,08

Effects of N, P and K fertilizers on water use (UE), grain yield (P) and water-use efficiency (UEE) for pearl millet grown at three sites in Niger (1985 cropping season)

revenu agricole de cette agriculture minière [3]. Ces données sont alarmantes, car la productivité de ces sols au départ est déjà faible à cause d'un niveau naturellement bas en éléments nutritifs. À ceci s'ajoutent une dégradation des propriétés physiques des sols et une augmentation du ruissellement et de l'érosion [4, 5].

L'Afrique sub-saharienne a le plus faible taux d'utilisation des engrais minéraux, (approximativement 10 kg d'éléments par hectare) et les ajustements structurels conduisent actuellement les gouvernements à supprimer les subventions sur les engrais, sans avoir mis en place, au préalable, des nouvelles politiques qui favoriseraient le maintien de l'utilisation d'intrants. Or ceci se fait au détriment de l'amélioration et du maintien de la fertilité des sols.

Diverses études [6] ont montré que la productivité des terres au Sahel est souvent plus limitée par la disponibilité en éléments nutritifs que par le déficit pluviométrique (tableau 2).

Par ailleurs, les mesures correctives de la fertilité chimique doivent s'effectuer en gestion intégrée avec l'utilisation des ressources minérales naturelles disponibles localement (comme les phosphates naturels par exemple) combinées au recyclage d'éléments nutritifs de sources organiques ou de sous-produits industriels. L'accroissement de la production agricole doit impérativement passer par l'augmentation de la productivité au niveau des parcelles déjà cultivées, plutôt que par celui des superficies défrichées ou l'utilisation abusive de terres de parcours qui correspondent généralement à des

sols fragiles. Cet accroissement de la productivité peut être obtenu par l'application de technologies existantes ou en cours d'acquisition par la recherche. Une conséquence attendue des nouvelles pratiques est la régénération du couvert arbustif et arboré dont les fonctions sont essentielles : production de bois, pâturages, lutte contre l'érosion, etc.

Le problème du phosphore en Afrique de l'Ouest

Les problèmes de carence en phosphore dans la région

La carence en phosphore (P) représente une contrainte majeure pour la production agricole en Afrique de l'Ouest [7], la réponse aux engrais azotés ne devenant effective que lorsque l'eau et le phosphore ne sont plus des facteurs limitants [8]. Prés de 80 % des sols de l'Afrique sub-saharienne sont carencés en phosphore. L'importance de la déficience en phosphore, l'estimation des besoins en P des principales cultures et l'évaluation de l'efficacité de différents types d'engrais phosphatés ont fait l'objet de nombreuses recherches [9-12]. Cependant, le niveau d'engrais phosphatés utilisé par les paysans reste très faible à cause du coût élevé des engrais importés. Ainsi, l'Afrique sub-saharienne utilise 1,6 kg de P/ha contre 7,9 et 14,9 pour l'Amérique

latine et l'Asie, respectivement. Il importe donc d'y valoriser au mieux l'engrais P importé ou les ressources locales de phosphates naturels.

L'augmentation de l'efficacité des engrais phosphatés

Nombre de recherches ont été menées sur l'augmentation de l'efficacité des engrais. Bationo (données non publiées) a montré que l'efficacité du phosphore est meilleure dans les systèmes de rotations céréales/légumineuses que dans la monoculture de céréales. L'application des résidus de récolte, en favorisant la complexation du fer et de l'aluminium, augmenterait de façon efficace la disponibilité du phosphore dans les sols [13]. L'effet des résidus de récolte sur l'augmentation du P prélevé par les cultures est dû aussi à l'effet des substances organiques telles que les auxines et les gibbérellines qui augmentent la densité racinaire permettant ainsi l'exploitation d'un plus grand volume de sol [14].

Les méthodes d'application du phosphore ont été depuis longtemps utilisées pour augmenter l'efficacité des engrais phosphatés. Sur des sols sableux du Niger, pauvres en matière organique (0-4 %) et en phosphore assimilable (Bray P1 = 2 mg.kg⁻¹) mais à faible pouvoir fixateur vis-à-vis du phosphore, on compare l'application à la volée et sans incorporation de P, l'application à la volée avec incorporation de P, l'application à la volée avec billonnage et le placement du phosphore dans les poquets du semis.

L'utilisation du P³² a permis de faire le bilan du P sur le mil (tableau 3).

L'application de phosphore au poquet a donné le plus bas taux de recouvrement tandis que l'incorporation et le billonnage ont conduit respectivement à des taux de recouvrement de 22 et 21 % la première année. L'utilisation du phosphore de l'engrais se situait entre 10 à 22 % la première année et 8 à 14 % la seconde année. La plus faible utilisation du phosphore en deuxième année était due à l'effet résiduel du phosphore appliqué antérieurement.

L'utilisation des phosphates naturels de la région

Il existe dans la sous-région des gisements de phosphates naturels. Les phosphates naturels de Tahoua (Niger), Parc-

Tableau 3

L'utilisation de ^{32}P par le mil selon différentes méthodes d'application du phosphore (P) à Sadoré au Niger (saisons culturales 1989 et 1990)

Traitements	Production (t.ha^{-1})				Utilisation totale (kg.ha^{-1})		P dérivé de l'engrais (%)		P total dérivé de l'engrais (kg.ha^{-1})		Utilisation du phosphore (%)	
	Épis		Paille		1989	1990	1989	1990	1989	1990	1989	1990
	1989	1990	1989	1990								
À la volée et non incorporé	1,04	1,40	2,00	1,97	7,55	7,40	46,00	33,77	3,36	2,45	15,40	12,47
À la volée et incorporé	1,13	1,58	2,39	2,13	8,10	7,91	53,42	33,53	4,37	2,70	22,24	13,78
À la volée et billonnage	1,21	1,55	2,56	2,23	9,12	7,62	46,09	37,74	4,14	2,78	21,09	14,15
Placé au poquet	0,85	1,35	2,00	1,83	4,93	5,55	42,82	28,48	2,02	1,53	10,30	7,83
Erreur standard	± 0,10	± 0,07	± 0,29	± 0,14	± 0,77	± 0,44	± 3,45	± 0,74	± 0,45	± 0,27	± 2,01	± 3,6
CV (%)	23	11	33	16	26	16	17,95	20	32	28	29	28

Use of P^{32} by pearl millet with different methods of P application in Sadore, Niger (1989 and 1990 cropping season)

W (Niger), Kodjari (Burkina Faso) et Tilemsi (Mali) ont été plus particulièrement étudiés. L'application directe des phosphates naturels de la région peut être une solution économique pour remplacer les engrais importés coûteux [15-19], mais leur efficacité dépend de leur composition chimique et minéralogique, qui peut être très variable (tableau 4), ainsi que des paramètres pédologiques et des systèmes de culture [19-21].

Ainsi, au Niger, les phosphates du Parc-W et ceux de Tahoua présentent respectivement une efficacité égale à 48 et 76 % de celle du superphosphate simple [7], illustrant l'intérêt de l'application directe des phosphates naturels de Tahoua [18]. Les données du tableau 5 montrent, pour les différentes zones agro-écologiques du Niger, que les phosphates naturels de Tahoua (PNT) sont aussi plus efficaces que ceux de Kodjari (PNK), aussi bien pour le mil que pour le niébé.

La faible efficacité des phosphates naturels par rapport au superphosphate simple résulte généralement de leur faible solubilité dans l'eau. L'acidification partielle des phosphates naturels permet d'améliorer leur solubilité et leur efficacité agronomique. Le coût global de l'opération (achat + traitement) est inférieur au coût de l'achat des engrais commerciaux conventionnels [22, 23]. Des essais en milieu paysan [18] ont ainsi montré que les phos-

phates naturels partiellement acidifiés du Parc-W (à 50 %) étaient aussi efficaces que les engrais minéraux phosphatés importés.

Plus récemment d'autres essais complètement gérés par les paysans ont été effectués au Mali et au Niger pour l'évaluation des phosphates de Tilemsi et de Tahoua. Nous en rapportons les résultats ci-dessous.

Essais au Mali

Trois zones agro-écologiques différentes ont été sélectionnées au Mali pour une évaluation agro-économique, en milieu paysan, des phosphates naturels de Tilemsi : Tafla dans la zone sahélienne avec une pluviométrie moyenne de 600 mm, Sougoumba dans la zone soudanienne avec une pluviométrie moyenne de 800 mm et Tinfounga dans la

Tableau 4

Composition chimique en pourcentage de quelques phosphates naturels de l'Afrique de l'Ouest

	Kpeme (Togo)	Parc-W (Niger)	Kodjari (Burkina Faso)	Tahoua (Niger)	Tilemsi (Mali)
Total P	15,7	12,4	11,1	12,2	12,5
Citrate-soluble P	1,31	1,14	0,92	1,09-2,18	1,84
CaO	51,3	40,0	33,5	39	14,4
F	4,0	3,4	3,1	2,8	3,1
Al_2O_3	1,1	1,5	4,0	2,1	2,1
Fe_2O_3	1,3	1,0	4,1	10,3	6,1
MgO	0,05	0,13	0,29	0,20	0,52
Na_2O	0,23	0,13	0,09	0,15	0,37
K_2O	0,04	0,13	0,043	0,12	0,1
SiO_2	0,03	0,005	—	0,005	0,007
CO_2	4,6	23,0	25,7	11,7	9,4
C	1,6	1,2	1,3	1,5	

Chemical composition (%) of some phosphate rocks from West Africa

Tableau 5

Efficacité agronomique relative en pourcentage des phosphates naturels de Tahoua (PNT) et de Kodjari (PNK) dans différentes zones agro-écologiques du Niger

	Sadoré		Gobéry		Gaya	
	PNT	PNK	PNT	PNK	PNT	PNK
Grains de mil	63	32	76	41	80	57
Biomasse totale du mil	65	35	60	40	68	63
Fanes de niébé	43	28	73	51	42	42
Biomasse totale du niébé	56	40	72	51	52	55

Agronomic efficiency (%) of Tahoua phosphate rock (PNT) and Kodjari phosphate rock (PNK) in different agro-ecological zones of Niger

zone Nord guinéenne avec une pluviométrie moyenne de 1 200 mm [24]. Les systèmes de cultures utilisés sont la rotation mil/arachide à Tafla, sorgho-coton à Sougoumba et maïs-coton à Tinfounga.

Les traitements utilisés sont répertoriés dans l'encadré.

Le tableau 6 donne l'effet des différentes sources d'engrais sur les rendements de l'arachide, du mil, du sorgho, du maïs et

Encadré

Évaluation des phosphates naturels : traitements utilisés

1. T1 : témoin.
2. T2 : pratique paysanne (chaque paysan applique les quantités d'engrais qu'il juge nécessaires).
3. T3 : doses d'engrais recommandées par la vulgarisation.
4. T4 : application annuelle des phosphates de Tilemsi.
5. T5 : application de fond des phosphates de Tilemsi.

Natural phosphate evaluation : used treatments

Tableau 6

Effet des différentes sources d'engrais sur les rendements (kg.ha⁻¹) de l'arachide, du mil, du sorgho, du maïs et du coton dans les différentes zones agroclimatologiques du Mali (1989-1992)

		Témoin absolu	Dose paysanne	Dose recommandée par la vulgarisation	Application annuelle du phosphate de Tilemsi	Application de fond du phosphate de Tilemsi	PPDS	CV (%)
Sougoumba								
Sorgho	1989	993	979	1 275	1 325	1 464	156	18
	1990	955	1 103	1 224	1 365	1 216	215	25
	1991	866	1 134	1 264	1 165	1 210	271	33
	1992	1 036	1 289	1 923	2 207	1 785	162	25
Coton	1989	1 121	1 351	1 645	1 610	1 691	190	17
	1990	731	1 013	1 233	1 044	1 142	174	23
	1991	1 245	1 428	1 544	1 614	1 564	152	14
	1992	931	1 120	1 307	1 354	1 514	288	18
Tafla								
Arachide	1988	775	885	844	825	775	112	19
	1990	283	334	361	338	370	67	27
	1991	499	746	591	609	577	107	26
	1992	556	583	695	564	660	109	24
Mil	1989	718	746	894	960	1 039	132	21
	1990	742	995	969	774	914	161	25
	1991	535	664	788	859	1 324	156	
	1992	254	360	411	349	337	101	40
Tinfounga								
Maïs	1989	1 014	1 818	2 296	1 877	2 204	331	45
	1990	723	2 046	2 725	2 069	2 174	374	26
	1991	1 043	2 193	2 725	2 865	2 509	304	19
	1992	670	2 087	2 712	2 190	2 529	418	28
Coton	1989	866	1 462	1 595	1 410	1 571	165	16
	1990	1 178	1 997	2 236	2 001	1 982	201	15
	1991	436	761	1 103	954	1 116	160	25
	1992	826	1 461	1 515	1 463	1 479	194	20

PPDS : plus petite différence significative.

Effect of different sources of fertilizers on groundnut, millet, sorghum, maize and cotton in different agroclimatological zones of Mali (1989-1992)

Tableau 7

Comparaison des traitements avec les gains nets (francs CFA/ha)* pour les différents traitements d'engrais dans trois zones agro-écologiques au Mali pendant les années 1989-1992

Sites	Témoin absolu (T1)	Dose recommandée (T3)	Application annuelle du phosphate de Tilemsi (T4)	Application de fond du phosphate de Tilemsi (T5)
Sougoumba (coton-sorgho)				
Témoin absolu (T1)		130 210	145 610	142 950
Dose recommandée (T3)			15 400	12 740
Application annuelle du phosphate de Tilemsi (T4)				- 2 660
Application de fond du phosphate de Tilemsi (T5)				
Tafla (arachide-mil)				
Témoin absolu (T1)		3 840	- 24 170	11 865
Dose recommandée (T3)			- 28 010	7 845
Application annuelle du phosphate de Tilemsi (T4)				36 035
Application de fond du phosphate de Tilemsi (T5)				
Tinfouga (coton-maïs)				
Témoin absolu (T1)		319 025	224 560	278 935
Dose recommandée (T3)			- 94 465	- 40 090
Application annuelle du phosphate de Tilemsi (T4)				54 375
Application de fond du phosphate de Tilemsi (T5)				

* Tous les prix sont estimés à 5 FCFA près.
250 F CFA = 1 \$ US avant janvier 1994.

Pairwise comparison of net gains (CFA F/ha) obtained with different fertilizer treatments in 3 agroecological zones of Mali over the 1989-1992 year period

Tableau 8

Analyses économiques des différentes options de gestion des fertilités des sols à Banizoumbou et Karabedji (Niger)

Sites	Traitements	Coût des engrais (F CFA/ha)	1996			1997		
			Production grain (kg/ha)	Bénéfice net (F CFA/ha)	Rapport bénéfice/coût	Production grain (kg/ha)	Bénéfice net (F CFA/ha)	Rapport bénéfice/coût
Banizoumbou	Témoin	-	344	-	-	248	-	-
	SSP	30 000	600	38 400	1,78	396	22 200	0,74
	PRT	3 360	462	17 700	5,27	292	6 600	1,96
	PRT + SSPHP	7 940	598	38 100	4,79	295	7 050	0,89
	SSP + NAC	53 077	708	54 600	1,02	521	40 950	0,78
	SSP + NAC + CR	53 077	902	83 700	1,58	682	65 250	1,22
Karabedji	Témoin	-	550	-	-	310	-	-
	SSP	30 000	703	22 950	0,77	655	51 750	1,73
	PRT	3 360	630	12 000	3,57	372	9 300	2,77
	PRT + SSPHP	7 940	738	28 200	3,55	688	56 700	7,14
	SSP + NAC	53 077	800	37 500	0,70	787	71 550	1,34
	SSP + NAC + CR	53 077	1 264	107 100	2,02	1 548	185 700	3,49

SSP : simple superphosphate (13 kg P/ha) ; PRT : *Tahoua phosphate rock* (13 kg P/ha) ; SSPHP : *hill placement of single superphosphate* (3 kg P/ha) ; CR : *crop residue* (2 t/ha) ; NAC : nitrate d'ammonium calcique (30 kg N/ha).

Cost-effectiveness of the different fertility management options at Banizoumbou and Karabedji (Niger)

du coton. De ces données, on peut tirer les conclusions suivantes. Les différentes sources d'engrais ont généralement eu un effet significatif sur la production des cultures par rapport aux témoins T1 ; il n'y a pas de différence significative entre l'application des engrais minéraux importés (T3) et des phosphates naturels de Tilemsi (T4) ; l'application de fond (T5) n'est pas significativement supérieure à l'application annuelle (T4).

Une analyse économique montre des gains nets en comparant les traitements entre lignes et colonnes (tableau 7). À Sougoumba, l'utilisation des pratiques recommandées a permis d'obtenir des gains nets de 130 210 francs CFA.ha⁻¹ par rapport au traitement témoin tandis que les phosphates de Tilemsi (T4) donnent des gains nets de 145 610 francs CFA.ha⁻¹. En revanche à Tinfounga l'utilisation des phosphates de Tilemsi (T4) ferait perdre 94 465 francs CFA.

Essais au Niger

Des essais menés au Niger (Banizoumbou et à Karabedji) ont évalué la performance de certaines technologies de restauration de la fertilité des sols par les paysans.

Les résultats de ces essais sont rapportés dans le tableau 8. On peut en conclure que l'utilisation des engrais est plus rentable à Karabedji (pluviométrie moyenne annuelle de 560 mm) qu'à Banizoumbou

Summary

Soil fertility constraints to sustainable crop production in the Sahelo-sudanian zone: case on phosphorus and efficient use of indigenous phosphates rock

A. Bationo, S. Koala, E. Ayuk

Low erratic rainfall, high soil and air temperatures, soils with poor natural fertility, surface crusting and low water-holding capacity, are the main characteristics of the West African semiarid tropics. Present farming systems are unsustainable, relatively unproductive and detrimental to the environment. Plant nutrient balances for many cropping systems are negative, indicating that farmers are mining their soils (Table 1). Studies have shown that it is often poor plant-nutrient supplies that limit land productivity in the Sahel rather than rainfall (Table 2).

Phosphorus is one of the major constraints to crop production in West Africa. Some phosphate rocks indigenous to regions such as Tilemsi (Mali) and Tahoua (Niger) are suitable for direct application (Tables 4, 5, and 6). Partial acidulation is one way of increasing the agronomic effectiveness of local phosphate rock. Rotations of cereals with legumes, application of organic amendments (e.g. crop residue) and P fertilizer with ridging can substantially increase P efficiency. In on-farm trials carried out in Mali, net production gains obtained after the application of Tilemsi phosphate rock (Table 7) were almost as good as after application of imported water-soluble P fertilizers. In Niger, once soil fertility was restored subsequent to the application of Tahoua phosphate rock (Table 8), an additional pocket application of 3 kg P/ha of simple superphosphate gave higher benefits than conventional applications of 13 kg P/ha superphosphate.

Cahiers Agricultures 1998 ; 7 : 365-71.

(pluviométrie annuelle moyenne de 400 mm). Le bénéfice net provenant de l'utilisation des phosphates naturels est faible mais le coût associé à leur utilisation est aussi faible. Cela explique que le rapport bénéfice/coût est plus élevé qu'avec l'utilisation des autres intrants. L'utilisation des phosphates naturels de Tahoua à la volée et l'incorporation avec placement de petites quantités de superphosphate simple donnent en général des rapports bénéfice/coût plus attractifs. L'utilisation des résidus de culture comme paillis améliore beaucoup le rapport bénéfice/coût, montrant ainsi l'importance de combiner l'utilisation des engrais minéraux avec les amendements organiques.

Conclusion

La recherche en station a développé des technologies prometteuses dont une petite partie seulement atteint les agriculteurs. De plus, elles n'incorporent pas les pratiques paysannes, les réalités socio-

économiques du milieu, les priorités et perceptions des agriculteurs. Leurs points de vue ainsi que leurs connaissances traditionnelles ne sont pas pris en compte. La recherche future doit associer chercheurs, agriculteurs, agents de vulgarisation, Organismes non gouvernementaux et décideurs pour définir ensemble toutes les étapes de conception, d'exécution et d'évaluation de la recherche. Les technologies qui seront développées sous ces conditions auront le plus de chance d'être adoptées par les paysans.

Même si les agriculteurs sont convaincus des bénéfices de la restauration de la fertilité du sol, ils n'ont pas les moyens d'utiliser les engrais importés et il est donc essentiel qu'ils aient accès au crédit, en brisant le cercle vicieux, ce qui leur permettrait d'utiliser les engrais et d'accroître leurs rendements.

L'investissement dans la fertilisation des sols a des bénéfices et coûts directs et indirects. Ces derniers n'ont pas toujours été pris en compte dans l'analyse économique traditionnelle et méritent donc d'être quantifiés dans les recherches futures ■

Résumé

Une pluviométrie faible et irrégulière, une température élevée du sol et de l'air, des sols à faible fertilité, l'encroûtement des sols et une faible capacité de rétention en eau sont les principales caractéristiques des zones tropicales semi-arides de l'Afrique de l'Ouest. Les systèmes actuels de production sont non soutenables, faibles en productivité et destructifs de l'environnement, la plupart ayant un bilan négatif en éléments nutritifs, indiquant la pratique d'une agriculture minière.

Le plus souvent, la basse fertilité des sols limite davantage que la pluviométrie la production agricole au Sahel.

L'application directe de phosphates naturels de Tilemsi (Mali) et Tahoua (Niger) améliore la production et l'acidification partielle augmente de façon très significative l'efficacité agronomique du phosphate de Kodjari ou du Parc de W.

Des essais en milieu paysan ont permis de conclure, au Mali, que l'utilisation des phosphates de Tilemsi permet des gains nets comparables à ceux obtenus avec les phosphates solubles à l'eau. Au Niger, une fois la fertilité des sols restaurée par l'application des phosphates de Tahoua, l'addition au poquet de l'équivalent de 3 kg P/ha de superphosphate simple permet d'obtenir les rapports bénéfices/coûts les plus élevés par rapport à la dose traditionnellement recommandée de 13 kg P/ha de superphosphate. La rotation céréales/légumineuses, l'application d'amendements organiques tels que les résidus de cultures ainsi que l'application de phosphore suivi de billonnage permettent d'augmenter de façon très significative l'efficacité des engrais phosphatés. Cependant, le plus souvent les paysans ne disposent pas des crédits nécessaires pour se procurer ces intrants externes. L'identification des contraintes socio-économiques, l'adoption de ses intrants externes et l'amélioration de l'environnement politique sont requis pour assurer la fertilisation durable des sols de l'Afrique de l'Ouest.

Références

1. IFPRI. *A 2020 vision for food, agriculture and the environment : the vision, challenge and recommended action*. Int. Food Policy Res. Inst., Washington, D.C., 1995 ; 50 p.
2. Stoorvogel JJ, Smaling EMA. *Assessment of soil nutrient depletion in sub-Saharan Africa, 1983-2000*. Report 28, DLO Winand Staring Centre for Integrated Land, Soil and Water Research (SC-DLO), Wageningen, Netherlands, 1990 ; 137 p.
3. Van der Pol F, Van der Geest N. *Economics of the nutrient balance, in agriculture, economics, and sustainability in the Sahel*. In : Hujsman, Van Tilburg, eds. Amsterdam, Royal Tropical agriculture, 1993 ; 41-112.
4. Vlaar JCJ, Wesselink AJ. *Aménagement de conservation des eaux et des sols par digues fil-trantes*. Commission des Communautés Européennes, 1990.
5. Buerkert A. Effects of crops residues, phosphorus and spatial variability on yield and nutrient uptake of pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.) in Southwest Niger. Diss. Universität Hohenheim. In : Ulrich E, ed. Grauer. Stuttgart : Verlag, 1995 ; 272 p.
6. Bationo A, Biélers CL, Van Duivenbooden N, Buerkert AC, Seyni F. The management of nutrients and water in the West African semi-arid tropics. In : *Management of nutrients of water in rainfed and semi-arid areas*. Proceedings of a consultant meeting organized by the joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture IAEA-Ted donc-1026, 1998 ; 15-35.
7. Bationo A, Chien SH, Mokwunye AU. Chemical characteristics and agronomic values of some phosphate rocks in West Africa. In : Menyonga JMT, Bezuneh, Youdeowwei A, eds. *Food grain production in semi-arid Africa*. SAFGRAD Coordination office. DAU/SAFGRAD, Essex, UK, 1987 ; 399-407.
8. Traore MF. Étude de la fumure minérale azotée intensive des céréales et du rôle spécifique de la matière organique dans la fertilité des sols au Mali. *Agron Trop* 1974 ; 5 : 567-86.
9. Bouyer S. *L'emploi des phosphates naturels de Thiès dans l'agriculture sénégalaise*. Compte rendu, 2nd Conf. InterAfr. des Sols. Léopoldville, 1954 ; 19-35.
10. Goldsworthy PR. Responses of cereals to fertilizers in Northern Nigeria I. *Sorghum Expl Agric* 1967 ; 3 : 29-40.
11. Goldsworthy PR. Responses of cereals to fertilizers in Northern Nigeria II. *Maize Expl Agric* 1967 ; 3 : 263-8.
12. Pichot J, Roche P. Le phosphate dans les sols tropicaux. *Agron Trop* 1972 ; 27 : 939-65.
13. Bationo A, Buerkert A, Sedogo MLP, Christianson BC, Mokwunye AU. A critical review of crop residue use as soil amendments in the West African semi-arid tropics. In : Powell M, Fernandez S, Williams TO, Renard C, eds. *Livestock and sustainable nutrient cycling in mixed farming systems of sub-Saharan Africa*. II. Technical papers. Proceedings International Conference, Addis Abeba, Ethiopia, 22-26 Nov. 1993. Addis Abeba, Ethiopia : ILCA, 1995 : 305-22.
14. Hafner H, George E, Bationo A, Marschner H. Effect of crop residues on root growth and nutrient acquisition of pearl millet in an acid sandy soil in Niger. *Plant and Soil* 1993 ; 150 : 117-27.
15. Jones MJ. *A review of the use of rock phosphate as fertilizer in francophone West Africa*. Paper 43. Institute for Agricultural Research. PMB 1044 Zaria, 1973.
16. Mokwunye AU. Phosphorus fertilizers in Nigeria savannah soils. II. Evaluation of three phosphate sources applied to maize at Samaru. *Trop Agric* (Trinidad) 1979 ; 56 : 65-8.
17. Thibaut F, Traoré MFC, Pichot J. L'utilisation agricole des phosphates naturels de Tilemsi (Mali). Synthèse des résultats de la recherche agronomique sur les cultures vivrières et oléagineuses. *Agron Trop* 1980 ; 35 : 240-9.
18. Bationo A, Chien SH, Christianson CB, Henao J, Mokwunye AU. A three year evaluation of two unacidulated and partially acidulated phosphate rocks indigenous to Niger. *Soil Sci Soc Am J* 1990 ; 54 : 1772-7.
19. Kasawneh FE, Doll EC. The use of phosphate rock for direct application. *Adv Agron* 1978 ; 30 : 159-206.
20. Lehr JR, McClellan GH. *A revised laboratory reactivity scale for evaluating phosphate rocks for direct application*, Bulletin 43, Tennessee Valley Authority, Muscle Shoals, 1972.
21. Chien SH, Hammond LL. A simple chemical method for evaluating the agronomic potential of granulated phosphate rock. *Soil Sci Soc Am J* 1978 ; 42 : 615-7.
22. Hammond LL, Chien SH, Mokwunye AU. Agronomic value of unacidulated and partially acidulated phosphate rocks indigenous to the tropics. *Adv Agron* 1986 ; 48 : 89-140.
23. Schultz JJ. *Sulfuric acid-based partially acidulated phosphate rock. Its production cost and use*. Techn. Bul. T-31. International Fertilizer Development Center, Muscle Shoals, AL, USA, 1986.
24. Bationo A, Ayuk E, Ballo D, Kone M, Agronomic and economic evaluation of Tilemsi phosphate rock in different agroecological zones of Mali. *Nutrient Cycling in Agrosystems* 1997 ; 48 : 179-89.

Amélioration de la gestion des sols par l'introduction de légumineuses dans les systèmes céréaliers des savanes africaines

R.J. Carsky¹
B. Douthwaite²
V.M. Manyong²
N. Sanginga³
S. Schulz²
B. Vanlauwe³
J. Diels²
J.D.H. Keatinge⁴

¹ International Institute of Tropical Agriculture,
BP 08-0932,
Cotonou,
Benin

<r.carsky@cgiar.org>

² Institute of Tropical Agriculture,
Oyo Road,
Ibadan,
Nigeria

³ Tropical Soil Biology and Fertility Institute,
Nairobi,
Kenya

⁴ International Crops Research Institute for the
Semi-arid Tropics,
Patancheru 502 324,
Andhra Pradesh,
India

Résumé

L'intégration des légumineuses fixatrices d'azote dans les systèmes techniques de production a donné lieu à de nombreux travaux de recherche destinés à améliorer ou restaurer la fertilité des terres, mais très peu de ces systèmes techniques sont vraiment appropriés par les paysans en Afrique de l'Ouest.

À l'*International Institute of Tropical Agriculture* (IITA), les recherches ont porté d'abord sur les systèmes agro-forestiers et les cultures de couverture. Ces deux systèmes, très performants biologiquement et agronomiquement, posent de grands problèmes d'adoption et de diffusion. En effet, la bibliographie et les expériences réalisées montrent bien que les paysans n'adoptent pas une méthode uniquement pour améliorer la fertilité de leurs terres, mais qu'ils en attendent aussi des avantages économiques. En conséquence, l'IITA a mis l'accent sur un effet positif additionnel des légumineuses : la réduction du parasitisme du *Striga hermonthica*. Une équipe pluridisciplinaire a été constituée pour étudier plusieurs aspects des rotations céréales-légumineuses à graines et générer des recommandations pour les services de recherche finalisée des pays d'Afrique de l'Ouest et d'Afrique centrale. L'impact de cet effort est très net au nord du Nigeria, où la rotation soja-maïs sur deux ans augmente le revenu brut de 50 à 70 % par rapport à la monoculture du maïs, du fait d'un contexte économique incitatif. Cela conduit beaucoup d'ONG à tester les rotations céréales-légumineuses à graines avec les paysans.

Mots clés : Agronomie ; Phytotechnie ; Environnement ; Afrique de l'Ouest.

Summary

Lessons for appropriate soil management technology generation for the savannas and their application to the grain legume-cereal rotation system

There are many legume-based technologies capable of regenerating soil fertility but few are being adopted by farmers in West Africa. At the International Institute of Tropical Agriculture (IITA) we found that alley cropping and cover cropping systems are biologically sustainable but have low adoption by farmers in the medium term. Negative reactions by farmers stimulated us to consider grain legume rotations for soil fertility maintenance, a decision that permitted a concentration of efforts by several disciplines on the same system. The immediate payoff was the generation of a large body of scientific information generated by a small number of researchers. Positive reactions of farmers has led to research at the farm level, focusing on the increases in maize yield due to the N benefits and the reduction in *Striga hermonthica* parasitism. A preliminary estimate of the impact can be calculated for Northern Nigeria where gross revenue from soybean-maize rotation is 50 to 70% higher than continuous maize cropping. Several research and development efforts are now underway testing soybean or cowpea rotation with maize.

Key words: Agronomy; Phytotechny; Environment; West Africa; Central Africa.

Les rotations et les jachères incluant des légumineuses constituent un élément important de la gestion durable de la fertilité des terres des savanes africaines. La présence des légumineuses fixatrices d'azote diminue le besoin d'azote et génère des produits à forte teneur protéique pour la consommation humaine ou animale. Les légumineuses utilisées permettent aussi de diminuer les quantités d'engrais azotés nécessaires pour les céréales suivantes. Dans sa quête de techniques de gestion durable du sol, l'*International Institute of Tropical Agriculture* (IITA) a successivement mis l'accent sur plusieurs systèmes techniques susceptibles de se substituer avantageusement à la jachère pratiquée par les paysans. L'intérêt pour ces systèmes de « jachère artificielle » a ainsi évolué des cultures en couloirs de 1976 à 1992, aux systèmes à plantes de couverture de 1980 à 1999 et, finalement, aux rotations incluant des légumineuses à graines depuis 1994. Dans ce parcours, les expériences de nos prédécesseurs ont été d'une grande utilité. Aussi, souhaitons-nous par cet article partager largement les enseignements que nous en avons tirés.

La culture en couloirs

Douthwaite *et al.* [1] ont retracé le cheminement des travaux menés par l'IITA sur la culture en couloirs, en faisant ressortir quelques événements saillants. Le tout premier fut la publication en 1981 de Kang *et al.* [2], qui montre que la culture en couloirs réussit à maintenir les rendements du maïs pendant quatre années de culture continue alors que les rendements chutent sur la parcelle témoin.

Sur la base des résultats expérimentaux obtenus par l'IITA, le réseau de recherche sur l'agriculture en couloirs pour l'Afrique tropicale (AFNETA) fut créé en 1989 dans le but d'expérimenter cette technique dans diverses zones écologiques des savanes humides et des forêts de l'Afrique. En 1992, l'AFNETA coordonnait déjà des essais dans 20 pays et il en est résulté de nombreuses publications sur ce thème.

À partir des années 1990, certains chercheurs ont commencé à s'intéresser à l'adoption des cultures en couloirs par les paysans. Des études conduites par Whitome [3], Dvorak [4], Swinkels et Franzel [5] ainsi que Adesina *et al.* [6] relèvent

les contraintes inhérentes à ce système ainsi que la faiblesse de la diffusion de paysan à paysan. Un exemple fourni par Adesina *et al.* montre que les paysans qui ont été informés de cette technique par d'autres paysans ne l'ont pas testée. Smith [7] suggère que la culture en couloirs serait pertinente dans des zones à densité de population élevée ayant un faible accès aux marchés. Cette idée repose sur le fait qu'il faut beaucoup de travail et que les mêmes effets bénéfiques peuvent aussi être fournis par les engrais et les herbicides ; la culture en couloirs doit donc viser les zones densément peuplées mais ne disposant pas d'un accès facile aux engrais.

D'un point de vue plus général, le principal enseignement de cette expérience des cultures en couloirs est qu'il faut que le paysan en tire des avantages économiques directs et pas seulement une amélioration du sol. Dans le sud du Bénin, par exemple, c'est le besoin de bois de chauffe qui stimule l'adoption des jachères plantées d'*Acacia auriculiformis*. Mais, même si un avantage économique est possible, les paysans ont besoin d'essayer la technique et de la modifier pour se l'approprier ; de plus, des systèmes complexes et nouveaux comme la culture en couloirs sont plus difficiles à comprendre et à tester que des techniques élémentaires simples comme de nouvelles cultures ou bien de nouvelles variétés.

Au demeurant, d'autres systèmes agroforestiers sont mis en œuvre par les paysans en Afrique de l'Ouest. La jachère à palmiers à huile est une pratique ancienne d'agroforesterie au sud du Bénin [8]. Tout en améliorant la fertilité du sol, ce système produit de l'huile et des matériaux de vannerie pour l'artisanat, puis du vin de palme et de l'alcool lors de l'abattage des palmiers, en fin de « jachère ». Tous ces produits génèrent des ressources monétaires et font de la jachère à palmiers à huile un investissement à avantages économiques multiples.

La plantation d'*Acacia auriculiformis* est un autre système agroforestier qui gagne actuellement du terrain dans le sud du Bénin. Outre l'amélioration de la fertilité, ce système fournit du bois de chauffage, de construction et de menuiserie, denrées rares dans les savanes surpeuplées du littoral béninois. Dans certaines régions du Bénin, son expansion se poursuit même au-delà des projets qui l'ont promu [Douthwaite, Carsky et Floquet, non publié, 2001].

Les cultures de couverture : le cas du mucuna (*Mucuna pruriens* var. *utilis*)

Les travaux de plusieurs auteurs ont établi qu'une courte jachère à mucuna (de moins d'un an) accroît le rendement des cultures suivantes, dans diverses situations [9]. Dans certains cas, cela a pu être attribué à l'amélioration des propriétés physico-chimiques du sol, mais le plus souvent l'augmentation du rendement après une jachère à mucuna est liée à une meilleure nutrition azotée de la culture céréalière, grâce essentiellement à la production de biomasse et à la teneur en azote de la jachère à mucuna [9].

Le mucuna fut l'une des nombreuses espèces de légumineuses de couverture testées par l'IITA dans des systèmes de couverture vivante au milieu des années 1980 [10]. Cette espèce fut rapidement testée dans le sud du Bénin, dans le cadre d'une recherche participative [1] intégrant plusieurs autres techniques de maintien de la fertilité du sol. Certains paysans ont ainsi pu observer que la jachère à mucuna affaiblit l'*Imperata cylindrica*, facilitant ainsi sa maîtrise. Par la suite, beaucoup de demandes de semences de mucuna ont été adressées aux agences de recherche et de développement. Selon Manyong *et al.* [11], les taux d'adoption initiale furent relativement élevés dans les villages où la technique fut testée au départ. Le fait que les paysans aient réagi surtout à l'inhibition des adventices par le mucuna indique que l'amélioration de la fertilité du sol ne suffit pas à elle-seule pour promouvoir l'adoption des jachères améliorantes qui occupent les terres sans produit économique direct. L'aptitude à affaiblir l'*Imperata* s'est avérée un atout décisif pour l'adoption de la jachère cultivée en mucuna.

Le cas du mucuna a aussi montré qu'un produit économique peut promouvoir l'adoption d'une jachère cultivée. Au Bénin, un marché actif des semences s'est en effet développé tant que la culture du mucuna était en expansion. Manyong *et al.* [11] ont suivi l'évolution du ratio coût/bénéfice pour un paysan adoptant le mucuna et ont constaté que la vente en tant que semences des graines produites double le bénéfice. Le produit économique direct généré par le système technique constitue une forte incitation pour

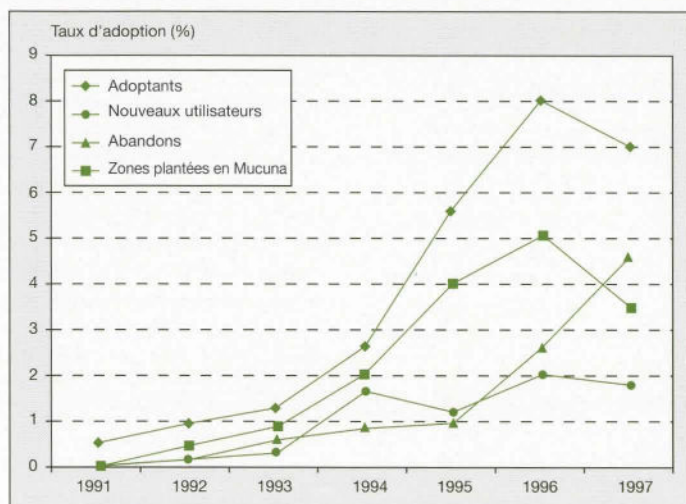


Figure 1. Dynamique de l'adoption de la jachère à mucuna dans le sud du Bénin, de 1991 à 1997 [12]].

Figure 1. Dynamics of mucuna fallow adoption in Southern Benin from 1991 to 1997 [12]].

des paysans démunis recherchant des profits économiques immédiats. Une étude effectuée ensuite dans le sud du Bénin dans la foulée des projets de développement [12] a montré que les taux d'adoption étaient visiblement en baisse et que les taux d'abandon augmentaient (figure 1). Aucune étude d'adoption n'a suivi, mais des discussions informelles avec les paysans ont fait ressortir le manque de débouchés pour les graines produites comme la cause majeure de l'abandon du mucuna. Dans un essai comparant des légumineuses à graines au mucuna à Kaduna, au Nigeria, on a noté que les rendements du maïs après mucuna sont

plus élevés qu'après niébé, mais que la rotation avec du niébé est économiquement plus intéressante [13] ; les paysans ont donc fini par abandonner le mucuna au profit du niébé.

Suite à l'expérience avec le mucuna du Bénin et d'autres pays, Carsky *et al.* [9] pensent que l'adoption sera assez limitée en Afrique de l'Ouest sur la base des seuls avantages prouvés que sont l'amélioration de la fertilité du sol et la lutte contre les mauvaises herbes. Cependant, des niches géographiques restreintes ont été identifiées où les jachères courtes à mucuna sont bien adaptées (figure 2).

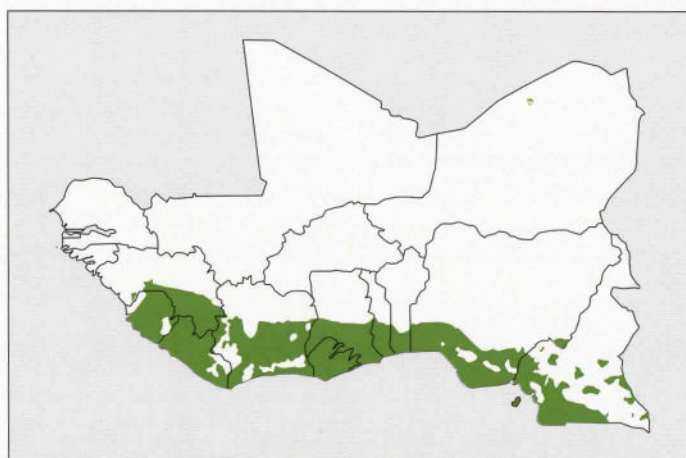


Figure 2. Zone où le mucuna pousse bien (moins de 75 % de sols acides, moins de 90 % de sols fixateurs de P, et longueur de la campagne supérieure à 150 jours), et où la saison est assez longue pour une culture vivrière ou de rente la même année que la jachère à mucuna (longueur de la saison de culture supérieure à 240 jours).

Figure 2. Area in which mucuna will grow well (coverage of acid soils less than 75 %, coverage of P-fixing soils less than 90 %, and length of growing period greater than 150 days) and where the growing season is long enough for a food or cash crop and a mucuna fallow (length of growing season greater than 240 days).

Une extension du domaine d'adoption peut intervenir là où le mucuna possède des avantages secondaires qui répondent aux contraintes locales. Dans la lutte contre *Striga hermonthica*, parasite des cultures céréalières des savanes, par exemple, quelques observations [14] laissent supposer que le mucuna peut réduire sa nuisance. Par ailleurs, l'utilisation des graines ou des feuilles de mucuna dans l'alimentation animale est possible. Certaines équipes ont ainsi montré l'intérêt d'introduire des graines [15, 16] ou des feuilles [17] de mucuna dans la ration des petits ruminants. Enfin, il peut y avoir des niches économiques favorables au mucuna liées au label « agriculture biologique » : présentement, au Bénin, un projet s'emploie à produire du « coton biologique » pour le marché européen. La jachère à mucuna pourrait alors s'avérer la meilleure source biologique d'azote pour le coton et être plus facile à contrôler sans herbicides que les adventices spontanées.

Rotations à base de légumineuses à graines

Alors que l'IITA et ses partenaires s'évertuaient à trouver des niches pour la culture en couloirs et la jachère à mucuna, la culture du niébé était très répandue en Afrique de l'Ouest [18] et les surfaces cultivées en soja étaient en progression, notamment au Nigeria. Les variétés de soja proposées par l'IITA furent adoptées vers la fin des années 1980 et le début des années 1990 grâce aux efforts déployés par les ONG et les organismes étatiques de développement. Dans l'État de Benue, zone où le soja est cultivé depuis plusieurs décennies, Sanginga [19] a observé que plus de 50 % des agriculteurs enquêtés avaient adopté les nouvelles variétés de l'IITA sur une période de 10 ans. Dans le sud de l'État de Kaduna, où une autre ONG donnait des semences améliorées de soja aux agriculteurs, Manyong *et al.* [20] ont constaté que, dès la troisième année, 35 paysans avaient transmis les semences des nouvelles variétés à 45 autres paysans. La consommation du soja au Nigeria fut par ailleurs stimulée par un important effort consacré à l'élaboration et à la diffusion de recettes culinaires à base de soja ou incluant ce produit dans les plats traditionnels [21]. L'étude du marché urbain dans une grande ville comme Ibadan a montré que le soja, qui

Tableau 1. Potentiels d'amélioration de la fertilité du sol et d'appropriation par les paysans de jachères cultivées en légumineuses.

Table 1. Potential soil improvement and farmer adoption of leguminous fallows.

Type de légumineuse dans la jachère	Potentiel d'amélioration du sol	Potentiel d'appropriation par les paysans
Ligneuse	Élevé	Très faible
Fourragère	Élevé	Très faible
De couverture	Élevé	Faible
À graines	Faible à modéré	Élevé

n'était vendu que sur 2 marchés en 1987, l'était sur 19 marchés en 1990 et que le nombre de détaillants vendant du soja était passé de 4 à 419 [21].

Le niébé étant un aliment très consommé en Afrique de l'Ouest, l'adoption de rotations à base de niébé est facilitée. Ainsi, Dembele [22] a enregistré au Mali des taux d'adoption plus élevés pour les systèmes incluant des légumineuses à graines que pour les légumineuses fourragères. Oyewole *et al.* [13] ont aussi observé que les paysans préfèrent la succession niébé/maïs à mucuna/maïs, bien que l'arrière-effet du niébé pour le maïs soit moins bon que celui du mucuna.

Face à cette situation, l'IITA a décidé, au milieu des années 1990, de focaliser ses recherches sur les légumineuses à graines, notamment celles relevant de son mandat (soja et niébé). Cette décision a été prise malgré les effets très faibles des légumineuses à graines sur les taux de matière organique des sols, parce que leur potentiel d'adoption est bien plus élevé que celui des jachères cultivées en légumineuses (tableau 1).

De plus, le soja, et peut-être le niébé, pourraient être de faux hôtes de *Striga hermonthica*, plante parasite des céréa-

les, comme l'ont montré le criblage *in vitro* d'un grand nombre de lignées de soja et la validation en plein champ des résultats [23]. Cette découverte, si elle se confirme, donnerait à ces légumineuses à graines un avantage supplémentaire, en plus des graines pour l'alimentation et de l'amélioration du sol.

En conséquence, l'équipe « savanes humides » de l'IITA a été dotée de moyens importants pour lui permettre de travailler sur les caractéristiques qui devraient renforcer les avantages des légumineuses à graines dans les systèmes de culture : amélioration de la fixation biologique de l'azote, utilisation efficiente du phosphore du sol et des engrais, production de biomasse à usages multiples et stimulation de la germination des graines de *Striga hermonthica*.

Meilleures pratiques pour les rotations incluant des légumineuses à graines

Cycle de l'espèce légumineuse

Nous avons observé qu'une culture de soja ou de niébé à cycle long a un plus grand effet sur la céréale en rotation.

Cette observation porte sur l'effet de deux variétés de soja de cycle différent en tant que précédent du maïs [24]. Elle a été confirmée [25-27] dans le cadre d'essais multilocaux menés dans le nord du Nigeria (tableau 2). Les variétés tardives ont laissé plus de résidus contenant plus d'azote, à la récolte. Des données tirées de Schulz *et al.* [18] indiquent également que la matière sèche aérienne résiduelle augmente avec la durée du cycle du niébé (tableau 3). En conséquence, on peut penser que les effets du niébé augmentent avec la durée du cycle de la variété. Par ailleurs, Stoop et van Staveren [28] ont démontré que l'impact sur le rendement du mil augmente avec l'allongement du cycle du niébé précédent.

Nutrition en phosphore des légumineuses

Une nutrition suffisante en P est essentielle pour la symbiose fixatrice d'azote chez les légumineuses ; c'est une condition nécessaire pour qu'elles puissent profiter au système sol-plante. Ainsi Ogoke *et al.* [29] ont constaté que l'azote résiduel du soja (fanes et feuilles tombées avant la récolte) augmente et passe de 25 kg/ha sans apport de P à 39 kg/ha avec apport, entraînant une amélioration conséquente du bilan azoté. Sanginga *et al.* [30] ont découvert que le bilan apparent de l'azote chez le niébé est amélioré, grâce à l'application de P, sur les lignées de niébé qui répondent à l'application de l'engrais phosphaté. Cet effet est lié à une meilleure nodulation, l'apport de P ayant doublé ou triplé le nombre des nodosités et leur poids frais. L'importance de l'apport de P a été également démontrée dans une étude sur la rotation niébé-maïs au Nigeria [31].

Enfin, il a été signalé que certaines légumineuses, comme le mucuna, améliorent la biodisponibilité du P modérément soluble du sol, et que le même effet s'étend aux engrais modérément solubles et aux phosphates naturels, ce qui peut être utile pour l'agriculture « biologique ».

Durée de l'inter-culture entre la légumineuse et la culture suivante

Le problème de la persistance des résidus des légumineuses en contre-saison est illustré par des observations sur l'évolution de la litière de mucuna. Carsky *et al.* [14] ont enregistré la disparition des résidus de mucuna au rythme de d'à peu près 1 t.ha⁻¹ par mois pendant la saison sèche près de Bauchi, dans le nord du Nigeria (195 jours de saison sèche), au point que le sol était à nu au moment du semis du

Tableau 2. Bilan azoté (kg/ha) de cultures de soja (avec enfouissement des fanes) dans des essais multilocaux (3 ou 4 sites par essai) dans le nord du Nigeria.

Table 2. N balance (kg/ha) of soybean crops (with haulms returned) in multi-locational trials (3 or 4 sites per trial) in Northern Nigeria.

Lignée de soja	Cycle	Essai 1	Essai 2	Essai 3
TGx 1485-1D	Précoce	- 5,4	- 7,2	- 12,2
TGx 1805-2E	Précoce	- 3,9	—	—
TGx 1681-3F	Précoce	- 7,5	—	—
TGx 536-2D	Intermédiaire	—	—	- 2,6
TGx 1809-12E	Intermédiaire	+ 1,7	—	—
TGx 923-2E	Tardif	+ 9,5	—	+ 1,6
TGx 1670-1F	Tardif	+ 1,5	+ 3,8	+ 10,9

Essai 1 = Singh *et al.* (2003) ; Essai 2 = Singh *et al.* (2003) ; Essai 3 = Ogoke *et al.* (2003).

Tableau 3. Matière sèche aérienne (t/ha) de niébé et de soja en fonction de la durée du cycle et du traitement insecticide (nombre d'observations entre parenthèses) [18].

Table 3. Aboveground dry matter (t/ha) of cowpea and soybean as a function of maturity class and insecticide treatment (number of observations in parentheses) [18].

Maturité	----- Niébé -----		Soja
	+ Insecticide	- Insecticide	
Précoce	2,2 (29)	2,3 (34)	1,4 (289)
Intermédiaire	2,5 (73)	3,9 (41)	1,7 (302)
Tardive	3,3 (99)	3,9 (69)	1,9 (227)

maïs suivant. Les effets attendus du mulch sont alors fortement réduits.

L'intervalle de temps entre la récolte du précédent niébé et le semis des céréales tient donc un rôle important. Pour s'en convaincre, on peut se référer à l'effet du précédent niébé noté dans les essais menés par Dakora *et al.* [32] et Carsky *et al.* [31]. Néanmoins, les calendriers agricoles dépendent beaucoup des objectifs et des contraintes des agriculteurs (calendriers alimentaires, disponibilités de la main-d'œuvre familiale, etc.) et la réalisation de deux cycles de culture par an pose souvent de nombreux problèmes.

Importance d'une « jachère améliorée » appropriable par les paysans

Les effets favorables du soja ou du niébé sur la fertilité du sol sont faibles à modérés. Toutefois, les paysans profitent des graines produites, de la réduction du *Striga hermonthica* là où il sévit, et du fourrage là où il est nécessaire. La succession soja ou niébé/maïs a donc fait l'objet d'essais intensifs avec les paysans du nord du Nigeria, à partir de 1999. L'expérimentation de rotations avec des légumineuses à graines fait prendre peu de risques aux paysans, comparée à la culture en cou-

loirs ou aux plantes de couverture. Ces dernières requièrent en effet de gros investissements en main-d'œuvre, pour une augmentation incertaine du rendement : si des stress biotiques ou abiotiques apparaissent (attaques de déprédateurs ou sécheresse), alors l'investissement n'est guère rentabilisé par le rendement du maïs.

Dans une étude conduite dans plusieurs villages [33], le soja et le niébé ont été utilisés pour réduire la densité des graines de *Striga hermonthica* dans le sol. Au bout d'une année de culture de soja (14 exploitations) ou de niébé (5 exploitations), la densité de *Striga hermonthica* fut considérablement réduite (tableau 4). Une autre étude, consacrée à la fertilité du sol et à l'intérêt économique des rotations céréales-soja, a été menée dans le nord de l'État de Kaduna (Kaya). Elle a permis de comparer deux variétés de soja, TGx 1448-2E et Samsay 2, au *Dolichos lablab* et au maïs comme précédents des céréales. Le maïs et le sorgho venant après le soja TGx 1448-2E ont donné des rendements satisfaisants avec moins d'engrais que d'habitude. En fait, les cultivateurs sont très intéressés par cette variété pour les raisons suivantes : fort rendement, bon comportement au stockage, résistance à la cercosporiose grise et à

l'éclatement des gousses, et stimulation, même modérée, de la germination du *Striga*.

Les bénéfices nets les plus élevés (sur les deux campagnes) ont été obtenus avec le précédent soja TGx 1448-2E (1 450 dollars US/ha) puis avec le soja local Samsay 2 (1 000 dollars US/ha). De l'analyse économique de ces systèmes, il ressort une amélioration de 50 à 70 % du revenu brut de l'agriculteur par rapport aux pratiques actuelles, notamment la culture continue du maïs. Avec des conditions économiques aussi favorables, les paysans sont très intéressés par ce système. Aussi, au cours de la campagne suivante, grâce à la diffusion de paysan à paysan, de nombreux agriculteurs des villages proches du site de référence ont adopté la variété de soja TGx 1448-2E [34].

SG 2000 (une grande ONG de développement agricole) a commencé à expérimenter la rotation légumineuse à graines/maïs avec de nombreux paysans dans le nord du Nigeria. Et des chercheurs de plusieurs systèmes nationaux de recherche sont en train de tester ces systèmes.

Une estimation rapide d'impact faite *a priori* estime que la surface consacrée à la culture de légumineuses à graines a augmenté de 10 % dans les savanes nord-guinéennes du Nigeria (environ 30 000 hectares), avec des gains de productivité atteignant 20 %. Cela se traduirait par une hausse de N fixé et une augmentation de la mobilisation du P des sources de phosphore modérément solubles, évaluées chaque année à 44 millions de dollars US [35].

Limites des interventions techniques

Bien que la mise au point de technologies correspondant bien aux conditions des producteurs constitue un avantage décisif, l'importance de l'environnement économique et de la diffusion de l'information ne doivent pas être ignorés. Plusieurs problèmes défavorisent les cultures de légumineuses à graines par rapport aux céréales : faible productivité, difficultés de conservation et de transformation, voire, pour certaines, l'existence d'aspects nutritifs défavorables. Certains attribuent d'ailleurs à ces facteurs la tendance

Tableau 4. Densités initiales de graines de *S. hermonthica* (Sh) dans le sol avant (1999) et après (2000) un an de rotation de soja, dans 19 champs paysans dans l'État de Kaduna.

Table 4. Initial *S. hermonthica* (Sh) seed densities in the soil prior to (1999) and after (2000) one year of soybean or cowpea rotation on 19 farmers' fields in Kaduna State.

Traitement	1999 (graines Sh.m ⁻²)	2000 (graines Sh.m ⁻²)
Pratique paysanne	16 594	26 042
Rotation soja ou niébé	30 081	15 390
Probabilité	0,8891	0,0560

des sociétés rurales à limiter la production de légumineuses au fur et à mesure de leur développement [36]. Présentement, la demande de soja et de niébé en Afrique paraît loin d'être satisfaite, mais de toute évidence les marchés locaux et régionaux sont limités et les producteurs africains pourraient difficilement se placer sur les marchés internationaux. Le prix mondial du soja est en effet nettement inférieur au prix actuellement pratiqué sur le marché nigérian. À l'avenir, dans le contexte de libéralisation des échanges, les décisions des agriculteurs de produire telle ou telle denrée, tout comme la recherche de systèmes de production vivrière durables, devront prendre en compte la mondialisation des marchés.

Les politiques agricoles nationales peuvent cependant influencer sur l'économie des exploitations paysannes [37] : Adesina et Coulibaly [38] ont par exemple montré que l'avantage comparatif de l'agriculture en couloirs a augmenté au Cameroun après l'arrêt des subventions et la dévaluation du Franc CFA. Des politiques peuvent sûrement être en mesure d'encourager ou de décourager la culture des légumineuses à graines.

Un facteur clé de la réussite des rotations incluant ces légumineuses à graines réside en effet dans la fixation biologique de l'azote dont les performances dépendent de la nutrition minérale des plantes, en particulier en phosphore, et donc de la disponibilité des engrais. Des politiques agricoles favorisant la distribution des intrants, le financement de l'agriculture, ou la régulation des marchés, peuvent donc énormément influencer l'adoption par les paysans de systèmes techniques innovants permettant une gestion durable des terres agricoles [37] ■

Références

- Douthwaite B, Manyong VM, Keatinge, JDH Chianu, J. The adoption of alley farming and mucuna: lessons for research, development, and extension. *Agrof Syst* 2002 ; 56 : 193-202.
- Kang BT, Wilson GF, and Siphens L. Alley cropping maize (*Zea mays* L.) and *Leucaena* (*Leucaena leucocephala* Lam.) in southern Nigeria. *Plant Soil* 1981 ; 63 : 165-79.
- Whittome MPB. *The Adoption of Alley Farming in Nigeria and Benin: The On-Farm Experience of IITA and ILCA*. Unpublished PhD thesis, Cambridge (England), University of Cambridge, 1994.
- Dvorak KA. *Adoption potential of alley cropping: final project report*. Resource and Crop Management Research Monograph No. 23. Ibadan (Nigeria): International Institute of Tropical Agriculture, 1996 ; 70 p.
- Swinkels R, Franzel S. Adoption potential of hedgerow intercropping in maize-based cropping systems in the highlands of western Kenya. 2. Economic and farmers' evaluation. *Exp Agric* 1997 ; 33 : 211-23.
- Adesina AA, Chianu J, Mbila D. *Property rights and alley farming technology adoption in West and Central Africa*. Paper presented at the International Workshop on Property Rights, Collective Action and Technology Adoption, organized by the CGIAR System-wide Initiative on Property Rights and Collective Action, ICARDA, Aleppo, Syria, 22-25 November 1997.
- Smith J. *Socioeconomic Characterization of Environments and Technologies in Humid and Sub-humid Regions of West and Central Africa*. Resource and Crop Management Research Monograph No. 10. Ibadan (Nigeria): International Institute of Tropical Agriculture, 1992 ; 15 p.
- Kang BT, Versteeg MN, Osiname O, Gichuru M. L'agroforesterie dans la zone humide de l'Afrique : trois réussites. *L'agroforesterie aujourd'hui* 1991 ; 3 : 4-6.
- Carsky RJ, Becker M, Hauser S. Mucuna fallow for the maintenance and restoration of soil fertility of tropical cropping systems: Potential and limitations. In: G. Tian G, Ishida F, Keatinge JDH, eds. *Soil fertility Maintenance in West Africa*. Madison (Wisconsin, États-Unis): Soil Science Society of America Spec. Publ. No. 58, 2001 ; 111-35.
- Akobundu IO. Integrated weed management techniques to reduce soil degradation. In: Combellack JH, Levick KJ, Parsons J, Richardson RG, eds. *Proceedings of the First International Weed Control Congress, Vol. 1*, Melbourne (Australia): Weed Science Society of Victoria Inc, 1992 : 278-88.
- Manyong VM, Houndékou AV, Gogan A, Versteeg MN, van der Pol F. Determinants of adoption for a resource management technology: The case of *Mucuna* in Benin Republic. In: Zhang Senwen, Wang Yunlong, eds. *Advances in Agricultural and Biological Environment Engineering*. Proceedings of a conference (ICABE), Beijing, 15-19 August 1996. Beijing (China): China Agricultural University Press, 1996 : 1-86-93.
- Honlonkou AN, Manyong VM, N'Guessan Tchetché. Farmers' perceptions and the dynamics of adoption of a resource management technology: the case of *Mucuna* fallow in southern Benin, West Africa. *International Forestry Review* 1999 ; 1 : 228-35.
- Oyewole B, Carsky RJ, Schulz S. On-farm testing of *Mucuna* and cowpea double cropping with maize in the Guinea savanna of Nigeria. In: Carsky RJ, Keatinge JDH, Manyong VM, Eteka AC, eds. *Cover Crops for Integrated Natural Resource Management in West Africa*. Proceedings of a Regional Workshop, October, 1999, Cotonou, Benin. Ibadan (Nigeria): International Institute of Tropical Agriculture, 2000 : 138-47.
- Carsky RJ, Tarawali SA, Becker M, Chikoye D, Tian G, Sangina N. *Mucuna - herbaceous cover legume with potential for multiple uses*. Resource and Crop Management Research Monograph No. 25. Ibadan (Nigeria): International Institute of Tropical Agriculture, 1998 ; 52 p.
- Castillo-Caamal AM, Castillo-Caamal JB, Ayala-Burgos AJ. Velvet bean (*Mucuna* spp.) supplementation of growing sheep fed with a basal diet of Napier grass (*Pennisetum purpureum*). *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 2003 ; Special Issue on *Mucuna* as Food and Feed.
- Mendoza-Castillo H, Castillo-Caamal JB, Ayala-Burgos A. Impact of Velvet Bean (*Mucuna* spp.) Supplementation on Milk Production of Goats. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 2003 ; Special Issue on *Mucuna* as Food and Feed.
- Muinga RW, Saha HM, Mureithi JG. The effect of *Mucuna* (*Mucuna pruriens*) forage on the performance of lactating cows. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 2003 ; Special Issue on *Mucuna* as Food and Feed.
- Schulz S, Carsky RJ, Tarawali S. Herbaceous legumes: The panacea for West African soil fertility problems? In: Tian G, Ishida F, Keatinge JDH, eds. *Soil fertility Maintenance in West Africa*. Madison (Wisconsin, États-Unis): Soil Science Society of America Spec. Publ. No. 58, 2001 : 179-95.
- Sanginga PC. *Adoption and social impact assessment of agricultural technologies: The case of soybean in Benue State, Nigeria*. PhD thesis, Ibadan, Nigeria, University of Ibadan, 1998.
- Manyong VM, Dashiell KE, Oyewole B, Blahut G. Spread of new soybean varieties in a traditional soybean growing area of Nigeria. In: Bezuneh T, Ouedraogo S, Menyonga JM, Zongo JD, Ouedraogo M, eds. *Towards Sustainable Farming Systems in Sub-Saharan Africa*. Ouagadougou (Burkina Faso): African Association of Farming Systems, Research Extension and Training, 1998 : 151-62.
- Osho O, Dashiell KE. Expanding soybean production, processing and utilisation in Nigeria. In: Ferris RSB. *Postharvest technology and commodity marketing*. Proceedings of a postharvest conference, Nov 1995, Accra, Ghana. Ibadan (Nigeria): International Institute of Tropical Agriculture, 1998 : 151-6.
- Dembele E. Activités liées à l'utilisation des légumineuses herbacées au Mali-sud. In: Carsky RJ, Keatinge JDH, Manyong VM, Eteka AC, eds. *Cover Crops for Integrated Natural Resource Management in West Africa*. Proceedings of a Regional Workshop, October, 1999, Cotonou, Benin. Ibadan (Nigeria): IITA, 2000 : 254-8.
- Berner D, Carsky R, Dashiell K, Kling J, Manyong V. A land management based approach to integrated *Striga hermonthica* control in sub-Saharan Africa. *Outlook Agric* 1996 ; 25 : 157-64.
- Carsky RJ, Abaidoo R, Dashiell KE, Sangina N. Effect of soybean on subsequent maize grain yield in Guinea savanna of West Africa. *African Crop Sci J* 1997 ; 5 : 31-9.
- Ogoke IJ, Carsky RJ, Togun AO, Dashiell K. Maize yield following phosphorus-fertilized soybean in the Nigerian guinea savanna. In: Badu-Apraku B, Fakorede MAB, Ouedraogo M, RJ Carsky RJ, eds. *Impact, Challenges and Prospects of Maize Research and Development in West and Central Africa*. Proceedings of a Regional Maize Workshop 4-7 May, 1999, Cotonou, Benin. Ibadan (Nigeria): International Institute of Tropical Agriculture, 2001 : 205-13.
- Singh A, Carsky RJ, Lucas EO, Dashiell K. Maize Grain Yield Response to Previous Soybean crop and Residue Management in the Guinea Savanna of Nigeria. In: Badu-Apraku B, Fakorede MAB, Ouedraogo M, R.J. Carsky RJ, eds. *Impact, Challenges and Prospects of Maize Research and Development in West and Central Africa*. Proceedings of a Regional Maize Workshop 4-7 May, 1999, Cotonou, Benin. Ibadan (Nigeria): International Institute of Tropical Agriculture, 2001 : 214-24.

27. Singh A, Carsky RJ, Lucas EO, Dashiell K. Soil N balance as affected by soybean maturity class in the Guinea savanna of Nigeria. *Agric Ecosyst Environ* 2003.
28. Stoop WA, van Staveren JP. Effect of cowpeas in cereal rotations on subsequent crop yields under semi-arid conditions in Upper Volta. In: Graham PH, Harris SC, eds. *Biological Nitrogen Fixation Technology for Tropical Agriculture*. Cali (Colombia): CIAT, 1982 : 653-7.
29. Ogoke IJ, Carsky RJ, Togun AO, Dashiell K. Effect of P fertilization of soybean on N balance in the guinea savanna of Nigeria. *Agric Ecosyst Environ* 2003.
30. Sanginga N, Lyasse O, Singh BB. Phosphorus use efficiency and nitrogen balance of cowpea breeding lines in a low P soil of the derived savanna zone in West Africa. *Plant Soil* 2000 ; 220 : 119-28.
31. Carsky RJ, Singh BB, Oyewole B. Contribution of early season cowpea to late season maize in the savanna zone of West Africa. *Biol Agric Hort* 2001 ; 18 : 303-15.
32. Dakora FD, Aboyinga RA, Mahama Y, Apaseku J. Assessment of N fixation in groundnut (*Arachis hypogaea* L.) and cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) and their relative N contribution to a succeeding maize crop in northern Ghana. *MIRCEN J* 1987 ; 3 : 389-99.
33. Schulz S, Hussaini MA, Kling JG, Berner DK, Ikie FO. Evaluation of integrated *Striga hermonthica* control technologies under farmer management. *Exp Agric* 2003.
34. Sanginga N, Okogun JA, Diels J, Vanlauwe B, Carsky RJ, Dashiell K. Nitrogen contribution of promiscuous soybean in maize cropping systems. In: Tian G, Ishida F, Keatinge JDH, eds. *Sustaining Soil Fertility in West Africa*. Madison (Wisconsin, États-Unis): Soil Science Society of America Spec. Publ. no. 58, 2001 : 69-89.
35. Sanginga N, Dashiell K, Diels J, et al. Sustainable resource management coupled to resilient germplasm to provide new intensive cereal – grain legume – livestock systems in the dry savanna. *Agric Ecosyst Environ* 2003.
36. Smil V. Some unorthodox perspectives on agricultural biodiversity. The case of legume cultivation. *Agric Ecosyst Environ* 1997 ; 62 : 135-44.
37. Keatinge JDH, Breman H, Manyong VM, Vanlauwe B, Wendt J. Sustaining soil fertility in West Africa in the face of rapidly increasing pressure for agricultural intensification. In: Tian G, Ishida F, Keatinge JDH, eds. *Sustaining Soil Fertility in West Africa*. Madison (Wisconsin, États-Unis): Soil Science Society of America Spec. Publ. No. 58, 2001 : 1-22.
38. Adesina AA, Coulibaly O. Policy and competitiveness of agroforestry-based technologies for maize production in Cameroon. An application of policy analysis matrix. *Agric Econ* 1998 ; 1334 : 1-13.

Sécurité foncière et gestion de la fertilité des sols : études de cas au Ghana et au Bénin

Aliou Saïdou^{1,4}
Samuel Adjei-Nsiah²
Dansou Kossou¹
Owuraku Sakyi-Dawson³
Thomas W. Kuyper⁴

¹ Faculté des sciences agronomiques,
Université d'Abomey-Calavi,
01 BP 526 RP,
Cotonou,
Bénin
<kossoudansou@yahoo.com>
<saidoualiou@gmail.com>

² Agricultural Research Centre – Kade,
Institute of Agricultural Research,
University of Ghana,
P.O. Box 38, Legon,
Ghana
<y_nsiah@yahoo.co.uk>

³ Agricultural Extension Department,
School of Agriculture,
University of Ghana,
P.O. Box 68,
Legon,
Ghana
<osakyid@ug.edu.gh>

⁴ Department of Soil Quality,
Wageningen University,
Droevendaalsesteeg 4,
NL-6708 PB Wageningen,
P.O. Box 47
NL-6700 AA Wageningen
Pays-Bas
<thom.kuyper@wur.nl>

Résumé

Dans le cadre d'un programme interuniversitaire de recherche, Convergence des Sciences (CoS), une étude a été conduite sur les stratégies de gestion de la fertilité du sol dans les régions centrales du Ghana (Wenchi) et du Bénin (Savè) où des pratiques variables de gestion de la fertilité du sol sont adoptées. Les deux régions sont caractérisées par la présence de populations autochtones et migrantes qui diffèrent de par leurs stratégies de subsistance. Plusieurs modes de gestion foncière régissent l'usage de la terre par les autochtones et les migrants. Les modes d'accès à la terre ont évolué d'un arrangement basé sur l'échange de terre agricole contre force de travail à un système de location en espèces dû à la monétisation croissante de l'agriculture. Les autochtones accusent les migrants de dégrader les sols par leur pratique agricole intensive ; de leur côté, les migrants justifient leur pratique par l'insécurité foncière les obligeant à une agriculture minière. Conséquence immédiate, un climat de méfiance entre migrants et autochtones s'est installé. Les perspectives pour parvenir à un arrangement durable incluant la gestion durable des sols sont explorées. Cependant, la reconnaissance d'une interdépendance mutuelle constitue une base pour l'établissement de relations de confiance entre migrants et autochtones. L'étude analyse les ressemblances et dissemblances entre Wenchi et Savè en ce qui concerne les stratégies de production développées par les migrants, les pratiques de gestion de la fertilité du sol, et des modes de gestion du foncier. Un accent est mis sur les conséquences de différents modes de gestion du foncier sur la gestion de la fertilité du sol. L'article décrit également le processus de négociation initié pour un arrangement durable.

Mots clés : accès à la terre ; dégradation du sol ; négociation ; politique foncière.

Thèmes : système agraire ; économie et développement rural ; territoire, foncier, politique agricole et alimentaire.

Abstract

Tenure security and soil fertility management: Case studies in Ghana and Benin

Within the framework of a larger research programme, Convergence of Sciences (CoS), studies were conducted on soil fertility management strategies in Ghana (Wenchi area) and Benin (Savè area). Soil fertility management in both areas includes short-term and longer-term practices. Both regions are characterised by the presence of natives and various groups of migrants that differ in their livelihood strategies. Natives and migrants enter into various tenure relationships. Driven by the increasing monetisation of the economy, such arrangements have evolved from land-for-labour relationships to a more monetary system. In general natives claim that migrants are negatively affecting soil fertility through their cropping practices, while migrants claim that the nature of the tenure arrangement leads to insecurity and leaves them no choice but to mine the soil. There is, hence, widespread mistrust between natives and migrants, and the prospects for durable tenure arrangements that could maintain soil fertility seem limited. However, recognition of mutual interdependence could form a basis for the build-up of trust. In this study we highlight similarities and differences between the two areas in terms of livelihood strategies of migrants, soil fertility management practices and tenure arrangements. We also indicate the way in which alternative soil fertility management strategies could be effected under different tenure arrangements and describe the negotiation processes that have been started with a view to implementing such alternatives.

Key words: land access; land policies; negotiation; soil degradation.

Subjects: farming system; economy and rural development; territory, land use, agricultural and food production policy.

Tirés à part : T.W. Kuyper

Ces dernières années, les conflits fonciers sont devenus des problèmes importants en Afrique au sud du Sahara. Ces conflits sont attribués à la pression induite par l'accroissement de la population avec pour conséquence une intensification de l'agriculture afin de satisfaire les demandes croissantes en produits sur le marché et à la migration des populations rurales (International Institute for Environment and Development, 1999 ; Toulmin et Quan, 2000 ; Cotula *et al.*, 2003). Dans la plupart des régions d'Afrique de l'Ouest, les populations des zones arides, sont contraintes de se déplacer vers les zones plus humides du sud où les conditions environnementales sont plus favorables aux activités agricoles. Les zones de transition du Ghana et du Bénin accueillent un grand nombre d'immigrants provenant des savanes soudaniennes et cela depuis les années 1940 (Adjei-Nsiah *et al.*, 2004 ; Saïdou *et al.*, 2004). En plus des contraintes pédoclimatiques des régions d'origine des migrants, la présence dans les zones de migration de marchés où la demande pour les produits agricoles courants est importante, le développement d'une agriculture mécanisée à grande échelle (cas du Ghana) et le développement des cultures de rente comme le tabac, l'arachide et le coton, introduites du temps de l'Administration coloniale au début des années 1960 sont les autres causes ayant motivé le déplacement des populations agricoles (Adjei-Nsiah *et al.*, 2007 ; Saïdou *et al.*, 2007). Ces derniers facteurs ont suscité une demande accrue de main-d'œuvre agricole en partie satisfaite par l'accueil de migrants.

Dans le passé, du fait de la faible population agricole dans les zones d'immigration, l'accès à la terre était facile. Les migrants pouvaient obtenir de la terre en faisant des dons symboliques en guise de présents pour les rituels (bouteilles d'alcool, noix de cola et argent) et en assurant des services en termes de main-d'œuvre agricole pour les populations autochtones. De nos jours, en raison de la pénurie croissante de terre agricole dans les zones d'immigration, les modes d'accès à la terre ont évolué d'un arrangement à l'amiable vers un système plus formel, dont le métayage et le paiement en espèces d'une rente foncière. Dans certains cas, cette monétisation du foncier recherchée par certains propriétaires a conduit à des abus tels que le non-respect des accords initiaux lorsqu'une tierce personne fait une offre plus élevée, la loca-

tion d'une même portion de terre à différentes personnes à la fois (cas du Ghana) et/ou une augmentation sans cesse du montant de la rente foncière (cas du Bénin). Au Ghana, en raison de l'inflation et par crainte d'une dégradation de la terre par le migrant, les propriétaires fonciers louent la terre pour une période maximum de deux ans contre le paiement à l'avance d'une forte rente foncière. Au Bénin, en raison de rentes foncières annuelles élevées, les migrants qui ne parviennent pas à payer sont menacés d'expulsion de la communauté. Le montant élevé des rentes et l'insécurité foncière empêchent les migrants d'investir dans des actions d'entretien de la fertilité des sols, ce qui affecte la qualité des sols par suite d'une baisse de leurs réserves en éléments minéraux et conduit à l'instauration d'une crise de confiance mutuelle entre migrants et propriétaires fonciers. La situation qui en a résulté dans ces deux pays est à l'origine de ce que certains ont appelé un dilemme social (Adjei-Nsiah *et al.*, 2004 ; Saïdou *et al.*, 2004).

L'étude proposée ici a été effectuée dans le cadre d'un programme interdisciplinaire conduit simultanément au Ghana et au Bénin (Convergence des Sciences pour une gestion intégrée des sols et des cultures – Hounkonnou *et al.*, 2006). Les modes de gestion du foncier et de la fertilité des sols ont été étudiés et les options possibles pour le développement d'innovations en matière de gestion foncière ont été également identifiées. L'étude compare la situation dans les deux pays et discute des efforts consentis par les différentes parties prenantes pour la négociation d'arrangements durables garantissant à la fois la sécurité foncière et l'investissement dans des pratiques de restauration de la fertilité des terres.

Méthodologie

Généralités sur la zone d'étude

L'étude s'est déroulée dans les zones agro-écologiques du centre du Ghana et du Bénin. Ces zones ont été choisies à la suite d'un diagnostic préalable (Adjei-Nsiah *et al.*, 2004 ; Saïdou *et al.*, 2004). Au Ghana, l'étude s'est déroulée dans le district de Wenchi. Trois villages ont été étudiés, à savoir : Asuoano (7° 41' N, 2° 06' W), Beposo (7° 41' N, 2° 07' W) et Droboso (7° 42' N, 2° 07' W). Les sols de

la région sont surtout des sols ferralitiques et la végétation est caractéristique des zones de transition entre la zone forestière au sud et la zone des savanes au nord. Ces villages sont majoritairement (80 %) peuplés d'Akans, population autochtone, et de migrants (20 % de la population). Le groupe des migrants est composé par ordre d'importance de Wala, Dagarba, Mossi et Lobi. Les Lobi et les Mossi ont émigré du Burkina Faso dans les années 1940 et 1950 à la recherche de travail comme ouvriers agricoles dans les plantations de cacao ; en revanche, les Dagarba et les Wala ont émigré de la région occidentale du Ghana dans les années 1960 et 1990 respectivement. L'agriculture est l'activité principale des populations autochtones.

Au Bénin, l'étude a été conduite dans la région de Savè (entre 7° 42' et 8° 45' N et 2° 15' et 2° 45' E). La zone comprend essentiellement des sols ferrugineux tropicaux avec présence, par endroits, de sols ferralitiques. La végétation est constituée par des savanes boisées et arborées avec présence d'îlots forestiers le long des cours d'eau. La population autochtone est composée de Tchabès appartenant au groupe des Yoruba et d'éleveurs peuhls sédentarisés. Depuis 1975, la zone a connu un afflux de migrants qui représentent actuellement 37 % de la population de la région. Cet afflux a conduit à l'apparition de nouvelles communautés, à savoir les Ditammari, les Yom et les Waama (provenant de l'Atacora-Donga), les Fon (provenant du plateau d'Abomey) et les Idatcha (provenant de Dassa-Zoumè et Glazoué). Les populations tchabè, spécialement ceux de la ville de Savè s'adonnent surtout aux activités de commerce, tandis que ceux qui vivent en milieu rural pratiquent l'agriculture. L'étude a été conduite dans cinq villages de migrants - Boubouhou, Elakpo, Igbo Iyoko, Kogbogoun et Ouoghi gare - et dans un village autochtone, Ouoghi centre.

Méthodes de recherche

L'étude a été conduite de janvier 2003 à mars 2005. Dans les deux pays, les informations ont été collectées à partir d'enquêtes collectives aussi bien auprès des groupes de migrants que des populations autochtones, avec une attention particulière portée à l'effet genre. Ces discussions de groupe ont été suivies d'entretiens individuels avec des producteurs et des personnes ressources, en particulier les leaders d'opinion. Les prin-

cipales informations collectées ont concerné : les systèmes de culture, le processus d'accès à la terre et le mode de gestion du foncier, les stratégies de production développées par les différents groupes migrants, et les pratiques de gestion de la fertilité des sols.

Des plates-formes locales au niveau de chaque village et des plates-formes multi-acteurs au niveau du district ont été organisées en vue de discuter des arrangements possibles pour une gestion durable de la tenure foncière. Au début du processus, les discussions au niveau des plates-formes se faisaient séparément avec les différents groupes socioculturels. Les plates-formes multi-acteurs étaient composées des différentes parties prenantes concernées par les problèmes fonciers, à savoir les services nationaux de vulgarisation, les équipes de recherche-développement, la municipalité, les représentants des propriétaires fonciers, les organisations non gouvernementales (ONG), le représentant du roi, et les représentants des associations locales de développement. La périodicité des rencontres au niveau de ces forums a été trimestrielle. Le but était d'échanger sur les modalités possibles d'une gestion durable du foncier en milieu rural tout en préservant l'environnement. Par la suite, en février 2005, des représentants des différentes plates-formes locales et les membres de la plate-forme multi-acteurs ont été conviés à un forum foncier organisé au chef-lieu du district à l'initiative de l'équipe de recherche. Le but de cette rencontre qui a duré trois jours était de discuter des propositions faites par chaque groupe d'acteurs afin de parvenir à un arrangement foncier durable qui prenne en compte les problèmes de dégradation des terres.

Dans les deux pays, il a été également procédé à des observations directes dans les champs aussi bien des migrants que des populations autochtones afin de confirmer certaines informations relatives aux systèmes de culture.

Résultats

Les systèmes de culture

Au niveau des deux pays, les systèmes de culture varient en fonction des différents groupes socioculturels en présence. Dans la région de Wenchi, au Ghana, le maïs

est la principale culture de rente, suivie de l'igname qui est également une culture vivrière. Le manioc et le taro sont les principales cultures vivrières. Le niébé et le pois d'angole ont une importance socio-économique dans la région. Le niébé est cultivé à la fois par les autochtones et les migrants. Les principales successions culturales pratiquées sont : igname, maïs en association avec le manioc (après la récolte du maïs, le manioc est cultivé en monoculture pendant 12 à 18 mois), maïs (pour bénéficier de l'arrière-effet du manioc), légumineuses à graines (niébé, arachide ou voandzou), taro, et le pois d'angole en fin de rotation. La différence de pratique entre les autochtones et les migrants se situe au niveau de la culture des plantes à cycle long comme le manioc, le pois d'angole et le taro. En effet, les autochtones et dans une certaine mesure les Lobi et les Mossi cultivent à la fois des cultures de rente et des cultures vivrières, tandis que les Wala pratiquent uniquement des cultures de rente, en particulier le maïs et le niébé.

Les stratégies de gestion de la fertilité des sols diffèrent d'un groupe socioculturel à l'autre. En général, les populations autochtones ont des pratiques de gestion de la fertilité des sols à long terme, à savoir la jachère naturelle et la rotation incluant des cultures à cycle long. Les anciens migrants, comme les autochtones, ont des pratiques de gestion de la fertilité des sols à long terme tandis que les migrants récemment installés, en particulier les Wala, ont des pratiques de gestion de la fertilité des sols à court terme comme le billonnage/buttage (pratique importée de leur région d'origine), la rotation culturale avec des cultures à cycle court telles que le niébé.

Dans la région de Savè au Bénin, les systèmes de culture des migrants sont en général orientés vers la commercialisation. Les principales cultures de rente sont le coton, le goussi (*Citrullus colocynthis* et *C. lanatus*), l'arachide, le soja, le riz, l'igname et le maïs qui sont en partie des cultures vivrières. Le sorgho, le niébé et le manioc sont les principales cultures vivrières. Les populations autochtones, en revanche, cultivent principalement pour la subsistance. En effet, les autochtones s'adonnent très peu aux cultures de rente car le commerce informel en particulier la vente du carburant frelaté et la conduite de taxi-moto localement appelée *zémidjan* leur permettent de générer des ressources substantielles pour la satisfaction des besoins de leur famille. Les

principales cultures vivrières qu'elles pratiquent sont le manioc, le maïs, l'igname, le niébé et le goussi. Les cultures de rente sont l'anacarde, le piment, le coton et l'arachide. Les deux groupes pratiquent une agriculture sur brûlis pour la production de l'igname avec, pour conséquence, une forte pression sur les rares terres vierges.

Les principales successions culturales pratiquées par les migrants sont l'igname, le goussi (semé au début de la saison de culture), le maïs et le sorgho en association, le coton, le maïs, les légumineuses à graine (niébé, arachide ou soja) et le manioc (généralement en fin de rotation). Les principales associations culturales notées sont : maïs/sorgho, maïs/manioc et arachide/maïs. Au niveau des autochtones, l'igname ou une légumineuse à graines ou le goussi sont cultivés généralement en tête de rotation ; ensuite viennent le maïs ou le coton, le sorgho ou le piment, le manioc, le maïs et l'anacardier (en fin de rotation, l'anacardier est la principale source de revenu agricole pour les autochtones, la parcelle n'est plus exploitée pour les cultures annuelles lorsque les arbres sont établis et la canopée fermée). Les associations culturales le plus souvent rencontrées sont : maïs/manioc, maïs/arachide, arachide/anacarde. La jachère naturelle, la « jachère » manioc (le manioc a un cycle qui dure environ deux ans. Selon la perception paysanne, le rendement de la culture de maïs qui suit est nettement amélioré. À proprement parler, ce n'est pas une jachère car la parcelle porte la culture de manioc qui continue de prélever des nutriments du sol), les rotations culturales incluant des légumineuses à graines et l'utilisation d'engrais minéraux sont les principaux moyens de gestion de la fertilité des sols adoptés à la fois par les migrants et les producteurs autochtones. À l'opposé des autochtones, les migrants mettent en culture de vastes superficies. Cette différence s'explique par le fait que les migrants ont la possibilité d'engager des ouvriers agricoles, le plus souvent des migrants saisonniers ou de nouveaux migrants.

Au niveau des deux pays, les rotations culturales céréales-légumineuses à graines, la culture du pois d'angole, la rotation coton-maïs, l'utilisation de la fumure minérale et la pratique de jachère de longue durée sont des pratiques qui améliorent la fertilité des sols soit par une augmentation du stock de matière organique dans le sol (cas de la jachère), soit en

améliorant le stock de nutriments (cas de la fumure minérale et de l'introduction des légumineuses à graines qui par le processus de la fixation symbiotique améliorent la nutrition azotée de la plante). En revanche, les rotations céréales-céréales (exemple maïs-sorgho), l'association de deux céréales sur une même parcelle (exemple association maïs/sorgho, pratique répandue par les migrants), la pratique des feux de brousse qui accélère la minéralisation de la matière organique, la déforestation qui met à nu le sol et favorise l'érosion, sont des pratiques qui dégradent la fertilité des sols.

Modes de gestion de la tenure foncière au Ghana et au Bénin

Modes d'accès à la terre

Quatre principaux types de propriété de la terre existent en milieu rural à Wenchi au Ghana :

- La propriété du chef, connue sous le nom de terre du trône ou terre traditionnelle, gérée par un adjoint au chef (*Abusa bene*) responsable de la gestion des ressources naturelles du chef, littéralement chef du métayage.
- Les terres familiales. Elles sont attribuées aux membres et descendants de la famille avec des droits de propriété octroyés par le représentant de chaque lignée suivant l'ordre d'héritage, ce système est connu sous le nom de *Abusa panyin*.
- Les terres individuelles. Ce sont des terres que des individus peuvent acquérir et exploiter. Les terres individuelles peuvent être acquises sous forme de présents ou dons des parents.
- Les terres sous contrôle gouvernemental. Ce sont des terres acquises par l'État en vue de leur reboisement. Ces terres sont habituellement distribuées aux paysans pour produire des cultures vivrières mais ceux-ci ont l'obligation de planter des arbres et de les entretenir pour l'État. Cette forme d'accès à la terre est connue sous le nom de système *taungya*. Les migrants, principaux bénéficiaires de ce système, sont supposés abandonner la parcelle après que les arbres se soient établis et que la canopée se soit fermée ; dans la réalité, les intéressés conservent leur parcelle. Traditionnellement, le droit de propriété sur la terre est basé sur les liens de parenté et cela sous le contrôle de l'autorité traditionnelle. Les membres

de la famille matrilineaire qui furent les premiers à défricher une parcelle ont le droit de la cultiver. Les femmes comme les hommes de la famille ont ainsi un droit d'usufruit sur la terre. On peut également avoir accès à la terre de la famille patrilinéaire. À l'exception du chef de Wenchi, personne ne peut vendre la terre à un étranger. La terre ne peut qu'être louée ou mise en métayage. Comme les migrants établis de manière permanente dans la région ne peuvent pas avoir de droit de propriété sur la terre, l'arrangement courant qui s'offre à eux est la location, le métayage ou le *taungya*.

Les terres des familles sont mises en location pour des périodes de courte durée par crainte de leur surexploitation par les migrants. Le loyer (la rente foncière) est le plus souvent payé à l'avance. Actuellement, le coût de location d'un hectare de terre s'élève à 500 000 Cédi¹ (50 euros). En revanche, la durée de location des terres appartenant à la chefferie est illimitée ; elle dure aussi longtemps que la rente foncière annuelle est payée. Le loyer n'est pas payé à l'avance mais à la fin de la saison de culture, généralement sous forme de produit agricole, en particulier de maïs. Il s'élève à un sac de 100 kg de maïs ou à son équivalent en argent. Actuellement la rente annuelle s'élève à 200 000 Cédi¹ (20 euros).

On distingue deux modes de métayage selon le mode de partage de la récolte qui dépend du type de culture. Ce sont l'*Abunu* et l'*Abusa*. À Wenchi, le système *Abusa* s'applique aux cultures comme le maïs, exigeantes en intrants et en facteurs de production tels que la main-d'œuvre, les engrais minéraux et les herbicides. Le produit de la récolte est divisé en trois parties dont les deux tiers reviennent au métayer et le tiers restant au propriétaire foncier. Le système *Abunu* s'applique aux cultures comme le manioc moins exigeantes en intrants. Dans ce cas, le produit de la récolte est partagé à parts égales entre le propriétaire foncier et le métayer. Dans le cas de l'igname qui exige des dépenses initiales élevées, notamment pour l'achat des semences, il n'existe pas de mode défini de partage des produits de la récolte. La part de la récolte octroyée au propriétaire foncier dépend de la bonne volonté du métayer. Dans la région de Savè, deux types de gestion foncière existent (Le Meur, 2002).

¹ Devise officielle du Ghana depuis 1965.

Dans la région de Ouoghi, les propriétaires fonciers et les populations locales sont organisés au sein de l'Association de développement du village de Ouoghi (Adesvo). En fonction de leur intégration dans la communauté, les migrants ont la possibilité de négocier le montant des rentes foncières qu'ils ont à payer. Les rentes sont collectées par des groupes mandatés par l'Adesvo et sont utilisées principalement pour des investissements collectifs (construction de centres de santé et de réseaux d'adduction d'eau potable). Le second type, rencontré dans les villages de Boubouhou, Elakpo, Igbo Iyoko et Kogbogoun, est un système dans lequel les migrants versent les rentes foncières à des lignées ou collectivités de propriétaires fonciers de Savè, particulièrement la collectivité *Amushu*. Les rentes foncières payées ne sont pas utilisées pour des actions communautaires mais gérées par les chefs des collectivités. Selon les règles coutumières, la terre est considérée par les populations autochtones comme un patrimoine sacré hérité des ancêtres et qui par conséquent ne peut être vendu à qui que ce soit. La terre peut être seulement attribuée ou transférée à des parents. Le droit de propriété des paysans autochtones correspond en fait à un droit d'usufruit, dépendant de l'appartenance à un groupe de la société ou à une lignée. Les exploitants autochtones acquièrent leur première parcelle de culture par héritage familial et/ou transfert de droits d'usage du chef de village. L'héritage se fait exclusivement au profit des enfants mâles qui ont tous les mêmes droits sur la terre. Suivant les règles coutumières, les enfants de sexe féminin n'héritent pas de la terre. Les femmes cultivent généralement les terres appartenant à leurs époux. En cas de divorce, la terre revient au mari ou à sa famille. En cas de décès du mari, la veuve conserve le droit d'usufruit sur la terre au nom de ses enfants de sexe mâle jusqu'à ce qu'ils atteignent l'âge de la majorité. Les migrants en revanche sont tenus de payer une rente foncière annuelle de 15 000 F CFA (23 euros). Cette rente foncière est indépendante de la surface cultivée. Cet arrangement ne leur donne pas le droit de planter des arbres ni même des légumineuses arbustives qui pourraient améliorer la fertilité du sol. Dans l'esprit des propriétaires fonciers, la plantation d'arbres est synonyme d'appropriation de la terre, ce qui pourrait accroître les droits des migrants sur la terre.

Évolution du mode de gestion de la tenure foncière

À l'origine, les migrants dans la région de Wenchi avaient accès à la terre en offrant des boissons et une certaine somme d'argent au chef du village (Amanor, 1993). Ces présents offerts, le migrant pouvait ensuite mettre en culture autant de superficie que possible. À partir des années 1940, avec l'arrivée massive des migrants dans la région, le conseil traditionnel a commencé à réglementer l'accès à la terre sur la base du système *Abusa* qui impose aux migrants un loyer annuel de la terre. L'*Abusa bene* (chef métayage) fut alors créé pour gérer les terres du trône données en location aux migrants.

La plupart des migrants ont recours à diverses formes d'arrangement avec les paysans autochtones. Au début, les propriétaires fonciers préféraient avoir des contrats de métayage avec les migrants. Cependant, au fur et à mesure que la terre prenait de la valeur monétaire, les propriétaires fonciers ont préféré donner leur terre en location aux migrants en lieu et place des contrats de métayage pratiqués auparavant.

De 1960 à 1985, le mode gestion du foncier dans le village de Ouoghi et la région de Boubouhou était similaire. Dans le cas du village de Ouoghi, le migrant désireux de s'installer dans la région, était introduit par son tuteur autochtone qui l'héberge auprès du *balè* (littérairement « père de la terre » jouant également le rôle de chef du village et de représentant des propriétaires fonciers et du *kambiessi*, roi de Savè). Dans le cas de Boubouhou et de ses environs, le migrant était introduit auprès des collectivités de propriétaires fonciers, groupes de familles, localement appelés *omo onilè*. Dans chacun des cas, le migrant offrait un ou deux litres de *sodabi* (boisson alcoolique locale distillée à partir du vin de palme) aux propriétaires fonciers ou au *balè* afin d'obtenir la bénédiction des ancêtres et des divinités pour que la terre soit prospère. À la fin de chaque saison culturale, le migrant offrait au chef de la collectivité des propriétaires fonciers ou au *balè* une quantité symbolique de produits vivriers en guise de reconnaissance. À partir de cet instant, le migrant était considéré comme hôte du village. Être hôte du village signifiait en contrepartie l'obligation de travailler comme ouvrier agricole pour son tuteur et le reste de la communauté.

De 1985 à 1990, les modalités de gestion de la tenure foncière ont évolué. Dans le

village de Ouoghi, les migrants continuent d'offrir des boissons alcoolisées, quelques noix de colas et une somme de 2 000 F CFA (3 euros) qui représente le droit d'accès à la terre (*itchakolè* en langue locale), lequel se paie une seule fois à l'installation du migrant. Dans la région de Boubouhou, en plus des présents qui sont offerts, le migrant paie également selon la proximité de la parcelle et l'état de fertilité du sol une somme variant entre 5 000 et 7 000 F CFA (8 à 11 euros) en guise de *itchakolè* (Berry, 1993 ; Le Meur, 2002). Le tribut inclut également l'obligation pour le migrant de travailler comme ouvrier agricole pour le propriétaire foncier. Mais cette obligation compensatoire de travailler comme ouvrier agricole a disparu à partir de 1991. À partir de cette date, l'arrangement institutionnel de gestion du foncier dans le village de Ouoghi est devenu plus formel avec l'instauration d'un document établi d'un commun accord entre l'Adesvo et les migrants, régissant l'accès à la terre. Bien que de telles règles soient écrites, elles n'avaient pas un statut véritablement juridique. Le *balè* a perdu ses prérogatives dans la gestion des terres en faveur de l'Adesvo. En lieu et place des boissons alcoolisées et des noix de colas, les migrants sont tenus de payer un *itchakolè* de 5 000 F CFA (8 euros) auquel s'ajoute à la fin de chaque saison culturale le paiement d'une taxe annuelle d'exploitation de la terre de 2 000 F CFA (3 euros) par hectare. Cette taxe d'exploitation des terres s'est accrue jusqu'à 5 000 F CFA (8 euros) au cours de la période 1994-1998, mais la terre est toujours gérée collectivement et les rentes collectées sont utilisées pour des actions de développement dans le village. Les anciens migrants vivant dans le village depuis au moins 10 à 15 ans sont considérés comme des membres de la communauté : ils sont, de ce fait, moins taxés ou même exemptés de paiement de rente. À l'opposé, les migrants sont plus taxés dans la région de Boubouhou : 5 000 à 10 000 F CFA (8 à 15 euros) d'*itchakolè* et une taxe annuelle de 10 000 F CFA (15 euros) par hectare.

À partir de 1999, le montant de la rente foncière à payer par hectare a été fixé à 5 000 F CFA (8 euros) dans les deux régions. Étant donné que les propriétaires fonciers n'arrivent pas à estimer les superficies mises en culture par chaque migrant, la taxation est basée forfaitairement sur une superficie minimum de trois hectares, soit une rente annuelle de

15 000 F CFA (23 euros) même si l'intéressé cultive moins de trois hectares.

Gestion des conflits fonciers en milieu rural au Ghana et au Bénin et perspectives pour un arrangement durable prenant en compte la préservation de l'environnement

Au Ghana, le métayage entraîne souvent des conflits entre les propriétaires fonciers et les migrants. Les propriétaires fonciers accusent les migrants de fraude ou d'utiliser pour leur propre compte une partie de la récolte à partager, spécialement pour le maïs. En effet, le métayage concernant la culture du maïs conduit souvent à des conflits en raison de la consommation du produit par la famille du migrant avant même que le produit de la récolte ne soit partagé avec le propriétaire foncier. Les migrants justifient cela par le fait qu'ils ne peuvent pas acheter de produits vivriers pour nourrir leur famille alors qu'ils en disposent dans leur champ. Des conflits plus sérieux apparaissent lorsque la terre est mise en location. En raison de la rente foncière qui ne cesse de croître, les migrants ont tendance à produire de façon continue, durant la période de location, des cultures à haute valeur économique comme le maïs sans aucune pratique d'entretien de la fertilité des sols. De telles pratiques conduisent à la baisse des nutriments du sol. Aussi pour limiter cette dégradation de la fertilité des sols par les migrants, les propriétaires fonciers mettent rarement en location les terres au-delà de deux ans. Cette situation génère une insécurité foncière pour les migrants qui se plaignent de l'absence de garanties leur permettant de bénéficier des fruits des investissements qui seraient faits dans l'entretien de la fertilité des sols du fait de la courte durée de la location de la terre. Parfois, les propriétaires fonciers remettent en cause les contrats de location des terres avant leur expiration. C'est le cas particulièrement lorsque le locataire a de bons rendements sur une parcelle, avec comme principale raison qu'ils veulent céder cette parcelle à un de leur fils. Il arrive aussi que certains propriétaires fonciers louent la même parcelle à deux locataires différents.

En raison des difficultés rencontrées par les migrants, bon nombre d'entre eux ont recours de nos jours à des contrats écrits,

rédigés par des officiels assermentés. Lesdits contrats mentionnant les noms des deux parties, la superficie et la forme de location de la parcelle ainsi que la durée du contrat, sont signés par les deux parties contractantes en présence de leurs témoins. Cependant, lorsque le contrat n'est pas avalisé par un témoin influant, membre de la famille du propriétaire tel que le fils ou la fille aîné ou le chef de famille, la validité du contrat peut être contestée et le locataire peut être évincé de la parcelle avant la période d'expiration du contrat. De tels conflits traduisent la tension bien connue entre d'une part l'ambiguïté, la flexibilité et l'indétermination des règles d'utilisation de la terre (Berry, 1993 ; Berry, 2002) et les rapports de force (Peters, 2002 ; Peters, 2004) qui sont souvent en défaveur du migrant, d'autre part.

Dans le cas du Bénin, le mode de paiement des rentes foncières est la principale source de conflit entre les migrants et la collectivité des propriétaires fonciers. Parfois, les anciens migrants agissent en lieu et place des propriétaires fonciers et collectent les rentes auprès des nouveaux migrants à l'insu des propriétaires fonciers. Le nouveau migrant a l'obligation de travailler comme ouvrier agricole pour l'ancien migrant avant qu'un lopin de terre ne lui soit attribué. Dans cette situation, les propriétaires fonciers sont abusés car ils n'entrent pas en possession de la rente pendant que le migrant améliore sa situation financière et cultive une plus grande superficie. En outre, certains migrants plantent des anacardiens malgré l'interdiction de planter des arbres sur les terres louées. De 2003 à 2004, la tension entre les propriétaires fonciers et les migrants s'est accentuée à cause du non-paiement des rentes foncières avec, pour conséquence, le départ de certains migrants pour le Nigeria où les règles de gestion foncière paraissent plus favorables à celles pratiquées dans la région de Savè. En général, les tensions avec les collectivités des propriétaires fonciers sont plus fréquentes dans la région de Boubouhou et de Savè comparativement au village de Ouoghi.

Au cours du temps, le processus de collecte des rentes a changé. Dans le passé, la plupart des migrants cultivaient le coton, seule culture à posséder une filière bien organisée avec des intrants délivrés à crédit, un service de vulgarisation et un circuit de commercialisation organisés par l'État, un prix d'achat du coton fixé à l'avance et des organisations paysannes

fonctionnelles. Grâce à l'inventaire des producteurs de coton, les propriétaires fonciers étaient informés du nombre de migrants vivants dans la zone. Un accord avait été établi entre les propriétaires fonciers et les organisations paysannes UCPC (Union communale des producteurs de coton) et GPC (Groupement des producteurs de coton) au niveau du village afin de prélever la rente annuelle sur le montant de la vente du coton. Ce système a fonctionné efficacement jusqu'à ce que la filière cotonnière connaisse des difficultés financières et organisationnelles sur le plan national (Sinzogan *et al.*, 2007). De nos jours, très peu de migrants continuent de cultiver le coton, ce qui fait que les propriétaires fonciers ne sont plus informés de l'arrivée de nouveaux migrants. Les difficultés qu'a connues la filière cotonnière ont entraîné une perte de confiance entre les propriétaires fonciers et les migrants.

Discussion et conclusion

Mode de gestion du foncier et son impact sur la gestion de la fertilité des sols

Au Ghana, les anciens migrants (Lobi, Mossi et Dagarba) ont établi de longue date de solides relations avec les populations autochtones, ils ont pu ainsi obtenir une sécurité foncière et des accès de longue durée à la terre comparativement aux Wala, migrants récemment installés. Les différences de pratiques de gestion de la fertilité des sols entre les différents groupes socioculturels dépendent des stratégies de production. Ainsi les Wala cherchent à accumuler des richesses qui seront ensuite exportées dans leur village d'origine où ils comptent retourner. Ce comportement des Wala a des conséquences sur la gestion de la fertilité des sols car leur réussite relative peut inciter d'autres migrants à adopter également des pratiques qui dégradent les terres.

Dans le cas du Bénin, la qualité des rapports entre les populations autochtones et les migrants dépend des communautés locales et de leurs perspectives. L'intégration des migrants dans la communauté contribue à leur assurer une certaine sécurité foncière. Par ailleurs la contribution des migrants à l'économie

locale a favorisé une interdépendance avec les populations autochtones.

Dans les deux pays, les populations autochtones tirent l'essentiel de leur revenu de la culture du maïs (cas du Ghana) et de l'anacarde (cas du Bénin). Comme l'anacardier est un arbre fruitier et donc une culture pérenne, la plantation d'anacardiens est une stratégie adoptée par les populations autochtones pour assurer leur retraite. Au Bénin, « la jachère manioc » est une pratique culturelle adoptée par les migrants pour accroître leur droit de propriété sur la terre ; en revanche, les Wala au Ghana sont réticents à cultiver le manioc et le pois d'angole parce qu'ils occupent la terre pendant une longue période alors qu'ils ne sont pas autorisés à louer la terre pour une période supérieure à deux ans.

En raison de l'insécurité foncière, la pratique de la jachère de longue durée au Bénin peut avoir comme conséquence pour le migrant la perte des droits d'exploitation de la terre. En effet, une jachère de longue durée peut être considérée comme un terrain non occupé et par conséquent être attribué à un nouveau migrant. Cette situation explique pourquoi la plupart des migrants pratiquent des jachères de courte durée (2 ou 3 ans). Au Ghana, en raison de la courte durée des périodes de location des terres, les migrants sont peu enclins à investir dans des pratiques à long terme de gestion de la fertilité du sol. Comme les migrants qui louent la terre n'ont aucune garantie de pouvoir jouir pleinement des avantages à long terme que procurerait un investissement dans l'amélioration de la fertilité du sol, il est évident qu'ils privilégient des stratégies de gestion du sol qui maximisent la production à court terme même si celles-ci compromettent la fertilité du sol (Gavian et Fafchams, 1999 ; Frazer, 2004).

Bien que plusieurs techniques de restauration de la fertilité des sols, dont les plantes de couverture, l'agroforesterie et les engrais minéraux, aient été introduites au Ghana et au Bénin par les services d'encadrement du monde rural, l'insécurité foncière empêche les migrants de les adopter. Aussi les modalités des accords d'exploitation des terres entre les migrants et les propriétaires fonciers doivent être reconsidérées afin de favoriser des accords à long terme permettant d'assurer le maintien de la fertilité des sols.

Perspectives pour une gestion durable de la fertilité des sols

De tels arrangements seront acceptables par les deux parties s'ils n'affectent pas les rapports de force existants. Cela implique que ces arrangements doivent être attractifs pour les populations autochtones (paiement régulier des rentes et maintien de la fertilité des sols) et pour les migrants (sécurité foncière à long terme). Cela ne peut être atteint qu'à travers la négociation. Comme l'a souligné Leeuwis (2004), une condition primordiale pour la réussite des négociations est l'interdépendance mutuelle entre les acteurs en présence. Les populations autochtones et les migrants sont conscients de cette interdépendance en dépit des plaintes sur la dégradation des sols et la baisse du rendement des cultures. La principale question qui se pose est comment intégrer les techniques de restauration de la fertilité des sols dans les règles d'utilisation actuelles des terres ?

Quand certains groupes de migrants sont bien intégrés dans leur communauté d'accueil, le processus de négociation d'un arrangement pour une meilleure gestion de la tenure foncière est relativement facile, comme c'est le cas dans le village de Ouoghi au Bénin ou des Mossi, des Dagarba et des Lobi au Ghana. En revanche, la négociation entre les propriétaires fonciers et les Wala au Ghana et entre les migrants de la région de Bou-bouhou et les propriétaires fonciers de Savè au Bénin a été difficile en raison des intérêts et objectifs divergents des différents groupes. D'une manière générale, on peut conclure que, dans les situations où la population paysanne est très hétérogène en termes de stratégie d'activité, l'adoption de meilleures techniques de gestion des sols et la négociation d'un arrangement social pour l'adoption de ces techniques seront plus difficiles. Cela étant, des efforts doivent être entrepris pour la mise au point d'une gamme d'options techniques et sociales à faire approuver par les différentes parties pour leur permettre d'atteindre leurs objectifs spécifiques.

Les efforts entrepris pour la négociation d'un arrangement alternatif pour la gestion de la tenure foncière entre les migrants et les propriétaires fonciers n'ont pas été fructueux à Wenchi du fait qu'un groupe de migrants n'était pas disposé à en discuter au niveau d'une plate-forme de négociation. Cette situation

s'explique par le fait que la gestion du foncier est un problème sensible qui implique plusieurs parties prenantes, dont le chef du village. Les différentes parties prenantes sont attachées à leurs intérêts particuliers ; les propriétaires fonciers en particulier craignent un changement du rapport de force existant qui serait en faveur des migrants. Cependant, certains migrants et propriétaires fonciers ont élaboré, à titre expérimental, de nouvelles formes alternatives d'arrangement où les rentes foncières sont payées sous forme de produits agricoles après la récolte. Mais ces expériences ont été également infructueuses en raison de l'inexistence de règles écrites bien définies régissant le contrat de tenure foncière. Par ailleurs, la validité des contrats est souvent remise en cause par les enfants des propriétaires fonciers qui ne sont pas toujours impliqués dans l'établissement des contrats. Malgré cela et en dépit des difficultés rencontrées lors de son expérimentation, certains groupes, en particulier les populations autochtones, les Dagarba et les migrants qui ne sont pas en mesure de payer à l'avance les rentes foncières sont favorables pour cet arrangement qui consiste à payer la rente foncière sous forme de produits agricoles après la récolte. Il s'avère alors utile de développer un cadre de concertation pour la gestion des terres au niveau local basé sur la recherche de solutions pragmatiques en tenant compte des expériences passées, et de principes fondamentaux, à savoir la transparence, l'équité, et la recherche de consensus (Berry, 2002). Il est également nécessaire de renforcer la capacité des institutions coutumières et traditionnelles pour la résolution des conflits et la gestion de la tenure foncière au niveau local (Fred-Mensah, 1999).

Dans le contexte du Bénin, l'arrangement alternatif qui a été négocié comprend l'établissement d'un contrat écrit comportant l'autorisation pour les migrants de planter des légumineuses arbustives fixatrices d'azote atmosphérique, de pouvoir bénéficier d'une certaine sédentarisation nécessaire pour la culture d'igname et l'adoption de pratiques améliorées de gestion de la fertilité des sols. La négociation de cet arrangement a changé le point de vue des propriétaires terriens sur la plantation des arbres qui ne signifie plus pour eux une appropriation tacite de la terre mais qui doit être également perçue comme une pratique culturelle contribuant à la régénération et la protection

des terres. En dehors des points positifs que cet arrangement présente, des contraintes sont cependant à mentionner. De multiples techniques de restauration de la fertilité des sols existent mais l'on ne peut être assuré de leur adoption par les migrants dont les stratégies et les systèmes de culture sont basés sur l'accumulation de revenus à court terme. En effet, l'adoption de ces techniques exige des coûts supplémentaires spécialement en main-d'œuvre (Adégbola *et al.*, 2002) dont les bénéfices économiques ne sont pas immédiats.

Ces arrangements alternatifs ont été négociés sur la base des plates-formes locales et des plates-formes multi-acteurs. La plate-forme lieu de discours coopératifs (Webler *et al.*, 1995 ; Steins et Edwards, 1999) encourage les différentes parties prenantes à s'engager dans des actions collectives en vue de concilier les objectifs de chacune des parties. La condition *sine qua non* consiste à créer les conditions pour l'établissement d'une confiance mutuelle en montrant par exemple que l'amélioration de la fertilité des sols permettra d'accroître le rendement des cultures et par conséquent facilitera la capacité des migrants à payer la rente foncière annuelle. ■

Références

- Adégbola YP, Sodjinou E, Housou N, Singbo GA. *Étude financière et socio-économique des technologies de gestion de la fertilité des sols au Sud-Bénin*. Rapport d'étude. Cotonou : PAPA/INRAB, 2002.
- Adjei-Nsiah S, Leeuwis C, Giller KE, *et al.* Land tenure and differential soil fertility management practices in Wenchi, Ghana : implication for interdisciplinary action research. *NJAS - Wag J Life Sc* 2004 ; 52 : 331-48.
- Adjei-Nsiah S, Leeuwis C, Sakyi-Dawson O, Giller KE, Kuyper TW. Exploring diversity among farmers for orienting inter-disciplinary action research on cropping system management in Wenchi, Ghana : the significance of time horizons. *Int J Agric Sust* 2007 ; 5 : 176-94.
- Amanor KS. *Wenchi farmer training project : social/environmental baseline study*. Rapport d'étude. London : Overseas Development Administration, 1993.
- Berry S. *No condition is permanent : the social dynamics of agrarian change in Sub-Saharan Africa*. Madison : Presses de l'Université de Wisconsin, 1993.
- Berry S. The everyday politics of rent-seeking : land allocation on the outskirts of Kumasi, Ghana. In : Juul K, Lund C, eds. *Negotiating Property in Africa*. Portsmouth : Heinemann, 2002.

Cotula L, Toulmin C, Hesse C. *Land tenure, land reform and land administration in Africa : lessons of experience and emerging issues*. A draft report prepared for the FAO by The International Institute for Environment and Development (IIED). Edinburgh : Drylands Programme, IIED, 2003.

Fraser DGE. Land tenure and agricultural management : soil conservation on rented and owned fields in southwest British Columbia. *Agric Human Values* 2004 ; 21 : 73-9.

Fred-Mensah BK. Capturing ambiguities : communal conflict management alternative in Ghana. *World Dev* 1999 ; 27 : 957-65.

Gavian S, Fafchamps M. Land tenure and allocative efficiency in Niger. *Am J Agric Econ* 1996 ; 78 : 460-71.

Houkonnou D, Kossou D, Kuyper TW, et al. Convergence of sciences : the management of agricultural research for small-scale farmers in Benin and Ghana. *NJAS – Wag J Life Sc* 2006 ; 53 : 343-67.

International Institute for Environment and Development (IIED). *Land tenure and resource access in West Africa : issues and opportunities for the next twenty five years*. London : IIED, 1999.

Leeuwis C. *Communication for rural innovation : rethinking agricultural extension*. 3^e ed. Oxford : Blackwell Science, 2004.

Le Meur PY. Trajectories of the politicisation of land issues : case studies from Benin. In : Juul K, Lund C, eds. *Negotiating Property in Africa*. Portsmouth : Heinemann, 2002.

Peters PE. The limits of negotiability : security, equity and class formation in Africa's land systems. In : Juul K, Lund C, eds. *Negotiating Property in Africa*. Portsmouth : Heinemann, 2002.

Peters PE. Inequality and social conflict over land in Africa. *J Agrar Change* 2004 ; 4 : 269-314.

Saïdou A, Kuyper TW, Kossou D, Tossou R, Richards P. Sustainable soil fertility management in Benin : learning from farmers. *NJAS – Wag J Life Sc* 2004 ; 52 : 349-69.

Saïdou A, Tossou R, Kossou D, Sambieni S, Richards P, Kuyper TW. Land tenure and sustainable soil fertility management in Benin. *Int J Agric Sust* 2007 ; 5 : 195-212.

Sinzogan AAC, Jiggins J, Vodouhè S, Kossou DK, Totin E, van Huis A. Cotton industry institutional linkages in Benin : stakeholder analysis and actor perspectives. *Int J Agric Sust* 2007 ; 5 : 213-31.

Steins N, Edwards V. Platforms for collective action in multiple use common pool resources. *Agric Human Values* 1999 ; 16 : 241-55.

Toulmin C, Quan J. *Evolving land rights, policy and tenure in Africa*. London : DFID/IIED/NRI, 2000.

Webler T, Kastenholz H, Renn O. Public participation and impact assessment : a social learning perspective. *Envir Impact Ass Review* 1995 ; 15 : 443-63.

Impact de l'agriculture climato-intelligente sur les stocks de carbone organique du sol à Madagascar

Tantely Maminiaina Razafimbelo^{1,*}, Andry Andriamananjara¹, Tovonarivo Rafolisy¹, Herintsitohaina Razakamanarivo¹, Dominique Masse², Eric Blanchart², Marie-Virginie Falinirina¹, Laetitia Bernard², Nasandratra Ravonjariason¹ et Alain Albrecht²

¹ Laboratoire des radio-isotopes, université d'Antananarivo, Antananarivo, Madagascar

² UMR Eco&Sols, Institut de recherche pour le développement (IRD), Univ Montpellier, Montpellier, France

Résumé – L'agriculture climato-intelligente (*Climate Smart Agriculture*) vise à lutter contre le changement climatique et à s'y adapter tout en combattant l'insécurité alimentaire. À Madagascar, différentes pratiques agricoles ont été testées depuis une vingtaine d'années par des organisations non gouvernementales et des institutions de recherche afin d'accroître les rendements, maintenir la fertilité des sols et augmenter les revenus des ménages. Ces pratiques sont l'agriculture de conservation, l'agroforesterie et l'utilisation d'intrants ou d'amendements organiques comme le compost ou le fumier. Cette étude a pour objet de documenter les impacts de quelques pratiques d'agriculture climato-intelligente sur le stockage du carbone dans le sol. Les résultats montrent que le stock de carbone des sols varie fortement d'une pratique à l'autre. Pour l'agriculture de conservation, la différence de stock varie de 0 à 1,82 Mg C ha⁻¹ an⁻¹ par rapport à la pratique traditionnelle (labour et exportation des résidus). Pour l'agroforesterie, la différence de stock entre des systèmes rizicoles sous girofliers et des pratiques de riziculture sur brûlis est de 0,68 Mg C ha⁻¹ an⁻¹. L'utilisation d'apports organiques comme le fumier, le compost ou les déchets urbains a induit des augmentations de carbone du sol de 0,16, 0,81 et 0,42 Mg C ha⁻¹ an⁻¹, mais les effets de ces apports organiques ne sont pas significatifs du fait de la très grande variabilité inter-parcellaire des stocks mesurés. Les pratiques d'agriculture climato-intelligente permettent ainsi d'augmenter la teneur en carbone du sol et ont donc des potentiels d'atténuation du changement climatique, mais ce potentiel est très variable selon la pratique considérée. Un éventuel impact à l'échelle du pays dépendra de l'étendue de l'adoption de ces différentes pratiques.

Mots-clés : adaptation / atténuation / changement climatique / matière organique / séquestration du carbone / Madagascar

Abstract – **Climate smart agriculture impact on soil organic carbon stocks in Madagascar.** Climate smart agriculture is presented as a solution to alleviate food insecurity, mitigate climate change and contribute to climate change adaptation. In Madagascar, different sustainable agricultural practices were implemented in the last 20 years by many non-governmental organizations in order to increase crop yields, maintain soil fertility and increase household income. These practices are conservation agriculture, agroforestry systems and the use of organic fertilizers as compost and manure. This study aimed to compare the soil organic carbon storage of some climate smart practices in the Malagasy context. The soil organic carbon stock of each practice, distributed in several sites among the island, was measured and compared with the traditional practices of each study site. For conservation agriculture, the differences in the soil organic carbon content varied from 0 to 1.82 Mg C ha⁻¹ year⁻¹ when compared with traditional practices (tillage and crop residues exported). For agroforestry, a difference in the soil organic carbon content of 0.68 Mg C ha⁻¹ year⁻¹ was found when comparing with the slash and burn practices in the East Coast of Madagascar but no significant soil organic carbon content was found in the Malagasy Highlands. The use of organic fertilizers such as manure, compost and urban organic waste led to an increase of soil organic carbon of 0.16, 0.81 and 0.42 Mg C ha⁻¹ year⁻¹ respectively, but these increases were not significant due to the great variability of soil organic carbon values. Results confirm the capacity of some climate smart practices to

*Auteur de correspondance : tantely.razafimbelo@gmail.com

store more carbon in the soil and hence to compensate for greenhouse gases emissions. However, the storage potentiality is quite different according to the practice and its spatial extent.

Keywords: adaptation / mitigation / climate change / organic matter / carbon sequestration / Madagascar

1 Introduction

Madagascar est reconnue pour sa grande diversité biophysique et sa richesse en termes de ressources naturelles, mais aussi pour sa grande pauvreté. L'agriculture tient une place importante dans la vie économique du pays et en fait la première solution pour pallier l'insécurité alimentaire et améliorer le revenu des paysans. Les pratiques traditionnelles prédominantes, basées sur la culture de riz sur brûlis aux dépens des forêts, figurent parmi les premières causes de déforestation dans les zones à proximité des forêts. Ces pratiques peuvent entraîner une dégradation importante des sols si des mesures de protection contre l'érosion ou des mesures de gestion durable de la fertilité ne sont pas entreprises (Kleinman *et al.*, 1995 ; Gay-des-Combes *et al.*, 2017). Dans les milieux cultivés sur les Hautes Terres ou en dehors des milieux forestiers, les pratiques agricoles sont basées sur les cultures pluviales, avec un labour du sol manuel ou par traction animale, une très faible utilisation de la fertilisation minérale et un peu de fertilisation organique au niveau des parcelles rizicoles et des cultures maraîchères de bas-fonds. Les résidus de récoltes sont soit exportés pour nourrir les animaux, soit utilisés dans les étables pour servir de litière. Le fumier ainsi élaboré est généralement restitué en grande partie sur les rizières. Les parcelles sur *tanety* (ou versants en cultures pluviales) sont très rarement fertilisées ou amendées. Ces pratiques traditionnelles conduisent à une diminution de la fertilité des sols et à leur dégradation et entraînent souvent l'abandon des terres par les paysans, qui défrichent de nouvelles terres.

Pour éviter la dégradation de la fertilité des sols et assurer durablement la production agricole, différentes initiatives ont été mises en place afin d'aider les paysans à maintenir durablement leur productivité et à faire face aux changements climatiques. Parmi ces initiatives, on peut citer la mise en place de l'agroécologie et de la « *Climate Smart Agriculture* » ou agriculture climato-intelligente (Lipper *et al.*, 2014 ; Paustian *et al.*, 2016), dans les espaces cultivés et autour des zones forestières.

L'agriculture intelligente face au climat a trois objectifs principaux : la sécurité alimentaire par une augmentation durable de la productivité et des revenus agricoles ; l'adaptation et le renforcement de la résilience face aux impacts des changements climatiques ; et l'atténuation de l'effet de serre par la réduction et/ou la suppression des émissions de gaz à effet de serre (GES) et la séquestration du carbone (FAO, 2010). L'agriculture climato-intelligente est mentionnée dans le cadre de l'Initiative 4% (4 pour mille) qui a pour objectif d'augmenter les stocks globaux de carbone des sols de 0,4 % par an pour compenser les émissions globales de GES d'origine humaine (Lal, 2016).

Parmi ces pratiques agricoles climato-intelligentes, on peut citer l'agriculture de conservation, l'agroforesterie, l'amélioration des pratiques rizicoles, les rotations et/ou associations de

cultures ou l'utilisation d'intrants organiques. L'agriculture de conservation est une pratique basée sur trois piliers : réduction ou suppression du travail du sol, couverture permanente du sol et rotations diversifiées. À Madagascar, l'agriculture de conservation a été introduite depuis 1991 sur les Hautes Terres et a ensuite diffusé dans les autres zones. Le développement de cette pratique s'est heurté à différentes contraintes techniques et sociales, mais toutefois, elle a été adoptée – et adaptée – par les paysans les plus convaincus. L'agroforesterie est l'association d'arbres à des activités agricoles ; elle est présente dans l'île sous différentes formes avec deux types dominants : une arboriculture fruitière avec des cultures vivrières sur les Hautes Terres, et des cultures de rente (giroflis, arbre à litchis, etc.) associées à des cultures vivrières sur les côtes. L'épandage du fumier est généralement pratiqué par les paysans sur les parcelles rizicoles, car la culture de riz est pour eux prioritaire, le riz étant l'aliment de base à Madagascar. L'épandage de compost est également pratiqué de plus en plus couramment dans les milieux ruraux.

La séquestration de carbone par ces pratiques agricoles climato-intelligentes peut être importante ou non selon les capacités de la pratique :

- à augmenter les apports de carbone au sol à travers les résidus ou les intrants organiques ;
- à réduire les pertes de carbone par minéralisation à travers la suppression du labour, l'amélioration de la stabilité structurale du sol ou la modification de la qualité des résidus organiques restitués.

Lal et Bruce (1999), dans une revue bibliographique regroupant plusieurs pratiques agricoles durables et pouvant être classées parmi les pratiques climato-intelligentes, ont rapporté des stockages annuels allant de 0 à plus de 2 Mg C ha⁻¹ an⁻¹ (Lal et Bruce, 1999), qui varient en fonction de différents paramètres comme le climat, l'altitude, le type de sol, et les types de pratiques mis en œuvre. À titre d'exemple, l'utilisation du fumier peut augmenter le stock de carbone du sol de 0,02 à 0,08 % an⁻¹ en Inde (Nambiar, 1995), et de 0,03 à 0,7 % an⁻¹ en Afrique de l'Ouest (Smith et Naazie, 1998).

Deux types d'approches peuvent être utilisés pour évaluer l'effet d'une pratique donnée sur le stockage de carbone. L'approche diachronique consiste à mesurer sur une même parcelle le stockage de carbone entre un temps t0 et un temps x. Cette méthode serait la méthode d'évaluation la plus pertinente mais sa mise en œuvre est limitée par le fait que l'observateur doit attendre plusieurs longues années avant de pouvoir évaluer la quantité de carbone séquestré (Bernoux *et al.*, 2005). L'approche synchronique consiste à comparer, à un instant donné, le stock de carbone d'une parcelle sous une pratique alternative séquestrante menée pendant x années à celui d'une parcelle en mode de gestion conventionnel n'ayant pas subi de modifications de gestion et supposée représenter le temps t0 de la parcelle en système séquestrant. Ce type d'approche peut induire une surestimation de la séquestration, qui pourrait être

Tableau 1. Systèmes étudiés en agriculture de conservation (stations expérimentales).**Table 1.** Studied conservation agriculture systems (experimental stations).

Climat	Type de sol	Argile (%)	Culture	Légumineuse	Âge (ans)	Fertilisation	Traitement
Tropical humide (Manakara)	Hy	25	Riz	<i>Stylosanthes guyanensis</i>	8	F0	LB
	Hy	25	Riz	<i>Stylosanthes guyanensis</i>	8	F0	SCV
	Hy	25	Riz	<i>Stylosanthes guyanensis</i>	8	Fm	LB
	Hy	25	Riz	<i>Stylosanthes guyanensis</i>	8	Fm	SCV
	Ft	30	Riz	<i>Stylosanthes guyanensis</i>	4	F0	LB
	Ft	30	Riz	<i>Stylosanthes guyanensis</i>	4	F0	SCV
	Ft	30	Riz	<i>Stylosanthes guyanensis</i>	4	Fm	LB
	Ft	30	Riz	<i>Stylosanthes guyanensis</i>	4	Fm	SCV
Tropical (Lac Alaotra)	Fr	20	Maïs	<i>Vigna unguiculata</i>	8	Fu	LB
	Fr	20	Maïs	<i>Vigna unguiculata</i>	8	Fu	SCV
	Fr	20	Maïs	<i>Vigna unguiculata</i>	8	Fu + Fm	LB
	Fr	20	Maïs	<i>Vigna unguiculata</i>	8	Fu + Fm	SCV
	PE	15	Riz	<i>Vigna unguiculata</i>	8	Fu	LB
	PE	15	Riz	<i>Vigna unguiculata</i>	8	Fu	SCV
	PE	15	Riz	<i>Vigna unguiculata</i>	8	Fu + Fm	LB
	PE	15	Riz	<i>Vigna unguiculata</i>	8	Fu + Fm	SCV
Subtropical (Antsirabe)	Fhu	62	Maïs	<i>Glycine max</i>	11	Fu + Fm	LB
	Fhu	62	Maïs	<i>Glycine max</i>	11	Fu + Fm	SCV

Hy : sol hydromorphe ou gleysol ; Ft : sol ferrallitique typique ou ferralsol ; Fr : sol ferrallitique rajeuni ou cambic ferralsol ; PE : sol peu évolué d'apport ou fluvisol ; Fhu : sol ferrallitique humifère ou ferralsol ; F0 : sans fertilisation ; Fu : fumier à raison de 5 Mg ha⁻¹ ; Fm : fertilisation minérale à raison de 62,5 kg de N, 14,5 kg de P et 19,9 kg de K par hectare et par an ; LB : labour (référence) ; SCV : systèmes en semis direct avec couverture végétale.

due à une diminution accrue des stocks de carbone pour la parcelle en gestion conventionnelle due à des pertes de carbone par érosion (Bernoux *et al.*, 2005). Mais c'est la seule approche qui permette d'évaluer la séquestration de carbone par des pratiques alternatives déjà mises en place en milieu paysan.

Cette étude a ainsi pour objectif de donner un aperçu des potentiels de séquestration additionnelle de carbone de quelques pratiques agricoles climato-intelligentes mises en œuvre à Madagascar.

2 Matériels et méthodes

2.1 Sites et traitements étudiés

L'étude est effectuée dans différentes régions de Madagascar à travers la sélection des pratiques climato-intelligentes existantes. Elle est ainsi effectuée, selon les localisations des pratiques étudiées, sur la Côte-Est, les Hautes Terres et le Sud-Est, avec des conditions pédoclimatiques contrastées.

Trois principales pratiques ont été étudiées : l'agriculture de conservation, l'agroforesterie et l'utilisation des intrants agricoles.

Deux types de dispositifs ont été sélectionnés pour l'étude :

- des systèmes en milieu paysan (cas de l'agroforesterie) ;
- des dispositifs expérimentaux (cas de l'agriculture de conservation, cas de l'utilisation des intrants organiques).

2.1.1 L'agriculture de conservation (AC)

Les systèmes étudiés font partie des anciens dispositifs expérimentaux en station de l'Organisation non gouverne-

mentale (ONG) *TAny sy Fampandrosoana* (TAFE). Ils comportent des systèmes de culture conduits en semis direct avec couverture végétale, appelés systèmes SCV. Ces dispositifs ont été installés sur des jachères de *bozaka* (*Aristida* sp.) âgées de plus de 10 ans. Plusieurs systèmes SCV, en non labour, associant céréales (riz ou maïs) et légumineuses (niébé, soja, stylosanthes), avec différents niveaux de fertilisation (sans fertilisation ou F0, fertilisation minérale ou Fm, fumier ou Fu, fertilisation minérale et organique ou Fm + Fu), ont été sélectionnés (Tab. 1). Différentes conditions pédoclimatiques ont été prises en compte, allant du climat tropical humide (T=19°C, P=2500 mm à Manakara) au climat tropical (T=20°C, P=1200 mm au Lac Alaotra) et tropical d'altitude (T=17°C, P=1300 mm dans les Hautes Terres), ainsi que des sols de différents types allant des sols sableux aux sols argileux (Tab. 1). Des systèmes analogues mais labourés ont été pris comme référence (Tab. 1). Chaque site expérimental comprenait trois parcelles de répétition par traitement.

2.1.2 L'agroforesterie (AF)

Les systèmes étudiés sont des systèmes agroforestiers en milieu paysan, associant des girofliers à des cultures annuelles (riz associé au manioc), dans l'écovégétation Est à proximité de la forêt humide de l'est de Madagascar (T=25°C, P=3000 mm), dans la région d'Analanjorofo (commune d'Ambodimanga) et dans la Région d'Atsinanana, sur des sols ferrallitiques (ferralsol) sablo-argileux (40–50 % d'argile ; 25–45% de sables). Deux systèmes agroforestiers, âgés de 24 ans, comprenant des parcelles paysannes de girofliers associés à

Tableau 2. Systèmes étudiés en agroforesterie paysanne.**Table 2.** Studied agroforestry systems on farmers plots.

Traitement	Commune	Point GPS	Âge d'exploitation *	Cycle cultural	Argile (%)
<i>Référence</i>					
Abattis-brûlis	Ambodimanga II	17°19'49,0"S ; 49°20'39,3"E 18°19'49,0"S ; 49°20'39,3"E 17°19'52,7"S ; 49°20'51,9"E 17°19'51,6"S ; 49°20'51,5"E	25 ans	Riz/jachère 2 ans /culture de manioc en abattis brûlis	49
Abattis	Ambodimanga II	17°20'41,4"S ; 49°21'08,8"E 17°20'26,1"S ; 49°20'59,9"E 17°20'26,0"S ; 49°21'02,0"E 17°20'31,7"S ; 49°21'00,9"E	25 ans	Jachère, culture associée riz/manioc ou maïs en abattis	44
<i>Agroforesterie</i>					
AFS (Agroforesterie simple)	Ambodimanga II	17°20'32,1"S ; 49°21'02,0"E 17°20'30,0"S ; 49°20'59,7"E 17°20'51,8"S ; 49°20'39,4"E 17°20'39,7"S ; 49°20'43,1"E	Âge des girofliers : 20 à 40 ans 24 ans de cultures en association	Giroflier associé à Riz/manioc Densité des girofliers : < 200 arbres ha ⁻¹	47
AFC (Agroforesterie complexe)	Ambodimanga II	17°20'29,9"S ; 49°21'00,5"E 17°20'28,7"S ; 49°20'52,5"E 17°20'50,8"S ; 49°20'41,1"E 17°20'38,7"S ; 49°20'45,1"E	Âge des girofliers : 20 à 40 ans 24 ans de cultures en association	Giroflier associé à Riz/manioc Densité des girofliers : > 200 arbres ha ⁻¹	41

* À dire d'exploitants.

du riz et du manioc, ont été distingués suivant la densité des girofliers (Tab. 2) :

- les systèmes agroforestiers complexes (AFC), où la densité de girofliers est supérieure à 200 arbres par hectare ;
- des systèmes agroforestiers simples (AFS), où la densité de girofliers est inférieure à 200 arbres par hectare.

Les girofliers sont âgés de 20 à 40 ans. Les cultures annuelles ont été mises en place par les paysans, il y a 24 ans.

Les systèmes de référence (Tab. 2) sont des parcelles paysannes utilisées :

- en systèmes sous couverture végétale (Abattis), où la culture de riz est effectuée sans brûlis et sans labour ;
- en culture conventionnelle de riz, c'est-à-dire la culture de riz sur brûlis (Abattis-Brûlis).

Pour ces deux systèmes de référence, la conduite de culture comprend des cycles de culture de 5–6 ans composés de 2 années de jachère, suivies de deux années de culture de riz seul, d'une année ou non de culture de riz associée au manioc en fonction de la diminution du rendement du riz constaté par le paysan et d'une année de culture de manioc. L'ordre de succession des cycles n'est pas complètement défini d'un cycle à un autre. Ces systèmes ont été conduits comme tels depuis 25 années successives sur une défriche forestière. Pour chaque système (AFS, AFC, Abattis, Abattis-brûlis), quatre parcelles paysannes ont été échantillonnées en 2013.

2.1.3 L'utilisation des intrants organiques

L'étude a été effectuée sur une station d'expérimentation agronomique à Lazaina, Antananarivo (T = 19°C, P = 1350 mm),

Tableau 3. Systèmes étudiés utilisant des intrants organiques.**Table 3.** Treatments using organic fertilizer inputs.

Traitement	Intrants organiques	Culture	Âge d'exploitation	Argile (%)
Témoin	0	Maïs	6 ans	40
Fumier	Fumier de bovin	Maïs	6 ans	40
Compost	Compost de résidus végétaux	Maïs	6 ans	40
Terreau	Compost de déchets urbains	Maïs	6 ans	40

sur un sol ferrallitique (ferralsol) argileux (40 % d'argile) sous jachère depuis plus de 20 ans.

Trois types de matière organique ont été étudiés (Tab. 3) :

- le fumier ;
- le compost (fabriqué à partir de résidus végétaux) ;
- le terreau (compost élaboré à partir de déchets organiques urbains).

Les trois types d'intrants ont été testés pendant 6 ans sur une culture de maïs. Ils ont été comparés à un traitement sans apports organiques.

Les doses de compost et de terreau ont été ajustées à raison de 1000 kg C ha⁻¹ d'équivalent carbone, de telle sorte que les doses de carbone pour les trois intrants soient équivalentes. Chaque traitement a été répété sur 4 blocs. Les stocks de carbone au début (2006) et à la fin (2012) de l'expérimentation ont été mesurés, afin de calculer le stockage induit par chaque type de matière organique apportée.

2.2 Prélèvements de sol et mesure des stocks de carbone

Pour chaque traitement, des sols ont été prélevés sur chacune des parcelles élémentaires avec des cylindres de 259 cm³ pour les profondeurs de 0–5, 5–10 cm, et avec des cylindres de 513 cm³ pour la profondeur 10–20 cm.

Pour mesurer la densité apparente, le sol contenu dans chaque cylindre est directement pesé et une aliquote de 50 g est prélevée, mise à l'étuve à 105 °C pendant 48 heures et ensuite pesée afin d'obtenir le poids sec permettant le calcul de la densité apparente. Le reste des échantillons est séché à l'air, tamisé à 2 mm, puis broyé à 0,2 mm pour l'analyse de la teneur en carbone organique.

La teneur en carbone organique est mesurée par combustion par voie humide suivant la méthode Walkley et Black (1934) suite à une oxydation de la matière organique par le bichromate de potassium.

Les stocks de carbone sont en Mégagrammes de carbone (tonnes) par hectare (Mg C ha⁻¹) et ont été calculés à partir de la teneur en carbone du sol (C, exprimé en g kg⁻¹ sol), de la densité apparente du sol (Da, exprimé en g cm⁻³), de l'épaisseur de l'horizon prélevé (e, exprimé en cm) et du pourcentage du refus (Refus, exprimé en g 100 g⁻¹) lors du tamisage à 2 mm, selon la formule ci-dessous :

$$\text{Stock C} = (C \times (100 - \text{Refus}) \times Da \times e) / 10.$$

Les différences de variation de stocks (exprimés en Mg C ha⁻¹ an⁻¹) sont obtenues par la différence entre les stocks de carbone de la pratique alternative avec les pratiques de référence, ramenée à la durée de la mise en pratique. Elles sont ensuite exprimées en % par an.

À cause des différences en termes de densité apparente, afin de permettre une juste comparaison entre les traitements d'une même pratique, les stocks ont ensuite été calculés à masse équivalente de l'horizon 0–20 cm (Ellert et Bettany, 1995).

L'approche synchronique consistant à comparer, à un instant donné, le stock de carbone d'une parcelle sous une pratique alternative séquestrante menée pendant x années à celui d'une parcelle en mode de gestion conventionnel n'ayant pas subi de modifications de gestion et supposée représenter le temps t0 de la parcelle en système séquestrant, a été utilisée pour évaluer l'effet de l'agriculture de conservation et l'agroforesterie sur les stocks de carbone, du fait de l'indisponibilité des valeurs de stocks de C au temps initial.

L'approche diachronique, consistant à mesurer sur une même parcelle le stockage de carbone entre un temps t0 (mise en place du dispositif) et un temps x, a été utilisée pour évaluer l'effet de l'utilisation des intrants agricoles.

2.3 Analyse statistique

Les moyennes de stockage de carbone ont été calculées afin de montrer les différences entre les traitements. Dans cette étude, en raison des grandes différences entre les dispositifs (parcelles expérimentales et parcelles paysannes), les analyses statistiques ont été effectuées pour chaque pratique agricole climato-intelligente étudiée (agriculture de conservation, agroforesterie et utilisation des intrants agricoles), sans effectuer de comparaisons statistiques entre les différents types de pratiques. Pour les pratiques sur dispositifs

expérimentaux (agriculture expérimentale et utilisation des intrants agricoles), l'analyse de variance (ANOVA) a été utilisée pour analyser l'effet des traitements. L'ANOVA a été suivie d'un test de comparaison des moyennes des stocks de carbone entre les différentes pratiques à $p < 0,05$ (test de Student Newman Keuls). Pour l'agroforesterie située dans des parcelles paysannes, les effets des traitements sur les stocks de carbone peuvent être affectés par la grande variabilité spatiale du sol due à la répartition des parcelles paysannes. Ainsi, les stocks de carbone ont été soumis au test de comparaison des moyennes ($p < 0,05$; test de Student Newman Keuls) pour tester les éventuels effets des pratiques.

3 Résultats et discussions

3.1 Le stockage de carbone par l'agriculture de conservation

Les valeurs des stocks observées pour les différentes situations étudiées sont très variables (Tab. 4). Les différences entre pratiques varient de 0 jusqu'à des différences très significatives de 1,82 Mg C ha⁻¹ an⁻¹. D'une manière générale, il est difficile, à partir de ces résultats, d'observer un effet climat sur le stockage du carbone, compte tenu de la grande variabilité des valeurs observées. Des valeurs légèrement plus élevées sont toutefois observées pour le climat tropical humide. Une importante différence de stocks de 1,82 Mg C ha⁻¹ an⁻¹ est observée entre le traitement Riz-Stylosanthes en agriculture de conservation et le traitement Riz-Stylosanthes en labour conventionnel pour le sol hydromorphe (Hy) avec 25 % d'argile. Cela peut s'expliquer par le fait que dans ces conditions d'hydromorphie, la matière organique peut s'accumuler car sa minéralisation est ralentie du fait de l'absence d'oxygène. Quant aux autres systèmes, en dehors d'un système Riz-Stylosanthes en climat tropical humide qui donne une différence de stockage nulle avec le labour conventionnel, les pratiques d'agriculture de conservation étudiées ici permettent d'augmenter le stock de carbone du sol avec des valeurs moyennes de 0,58 ± 0,51 Mg C ha⁻¹ an⁻¹ pour une profondeur équivalente de 20 cm. Ces valeurs sont assez cohérentes, voire plus élevées que celles observées dans la littérature. En Afrique subsaharienne, une méta-analyse effectuée par Powlson *et al.* (2016) rapporte des valeurs de stockage de 0,54 Mg C ha⁻¹ an⁻¹ pour l'agriculture de conservation. Les augmentations de stock de carbone par ces systèmes sont liées essentiellement à la quantité importante de résidus organiques restituée par les cultures et les plantes de couverture, mais aussi à la suppression du labour, qui ralentit la minéralisation de la matière organique du sol et entraîne une redistribution du carbone du sol (Powlson *et al.*, 2014). Une méta-analyse effectuée par Poeplau et Don (2015) montre d'ailleurs que l'introduction de plantes de couverture dans la rotation culturale peut à elle seule générer une augmentation de stock de carbone de 0,32 Mg C ha⁻¹ an⁻¹ à 0–22 cm de profondeur pendant une période de 54 ans. Les valeurs de stocks de carbone sont souvent affectées d'une grande variabilité entraînant une difficulté d'évaluation des effets significatifs. Dans une revue bibliographique récente (Corbeels *et al.*, à paraître), sur le potentiel de l'agriculture de conservation à atteindre un taux d'augmentation du carbone du sol de 4% par an en Afrique subsaharienne, des valeurs

Tableau 4. Stockage de carbone en $\text{Mg C ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ par l'agriculture de conservation ($n=3$, moyennes et écart-types).**Table 4.** Soil carbon storage, in $\text{Mg C ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$, for conservation agriculture.

Climat	Type de sol	Argile (%)	Culture	Légumineuse	Fertilisation	Stockage C
Tropical humide	Hy	25	Riz	<i>Stylosanthes guyanensis</i>	F0	0,803
	Hy	25	Riz	<i>Stylosanthes guyanensis</i>	Fm	1,816*
	Ft	30	Riz	<i>Stylosanthes guyanensis</i>	F0	0,550
	Ft	30	Riz	<i>Stylosanthes guyanensis</i>	Fm	0
Tropical	Fr	20	Maïs	<i>Vigna unguiculata</i>	Fu	0,137
	Fr	20	Maïs	<i>Vigna unguiculata</i>	Fu + Fm	0,22
	PE	15	Riz	<i>Vigna unguiculata</i>	Fu	0,727*
	PE	15	Riz	<i>Vigna unguiculata</i>	Fu + Fm	0,6
Subtropical	Fhu	62	Maïs	<i>Glycine max</i>	Fu + Fm	0,327

Hy : sol hydromorphe ou gleysol ; Ft : sol ferrallitique typique ou ferralsol ; Fr : sol ferrallitique rajeuni ou cambic ferralsol ; PE : sol peu évolué d'apport ou fluvisol ; Fhu : sol ferrallitique humifère ou ferralsol ; F0 : sans fertilisation ; Fu : fumier à raison de 5 Mg MS ha^{-1} ; Fm : fertilisation minérale à raison de $62,5 \text{ kg de N}$, $14,5 \text{ kg de P}$ et $19,9 \text{ kg de K}$ par hectare par an.

* Stockage significatif : les stocks initiaux (LB) et les stocks sous SCV sont significativement différents ($p < 0,05$).

extrêmement diverses de changement de stock de carbone ont été relevées, allant de $-10,2$ ($0-30 \text{ cm}$) à $+6,86$ ($0-15 \text{ cm}$) $\text{Mg C ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$, ce qui représente des taux d'augmentation de -142 à $+450 \text{ ‰ an}^{-1}$. La dispersion de ces valeurs ne permet pas de conclure de manière significative sur le potentiel de l'agriculture de conservation à augmenter le carbone du sol en Afrique subsaharienne.

Quant à la fertilisation, elle agit d'une manière générale sur la biomasse produite par les cultures et ensuite restituée au sol (Dou *et al.*, 2014). La fertilisation organique peut aussi agir sur la minéralisation du carbone du sol à travers la stimulation de l'activité microbienne qui décompose une fraction de carbone native du sol, connue également sous l'appellation «*priming effect*» (Chen *et al.*, 2014 ; Bernard *et al.*, 2012 ; Kuzyakov *et al.*, 2000). Pour les systèmes étudiés ici, l'effet positif de la fertilisation n'est toutefois observé que pour le système Riz-Stylosanthes du sol hydromorphe (Hy) ($p < 0,05$). Pour les sols en climat tropical, on observe une tendance d'effet de la fertilisation sur le stockage, mais elle est non significative. Il est également reporté que le stock de C n'augmente pas indéfiniment mais tend vers une valeur d'équilibre (Johnston *et al.*, 2009 ; Powlson *et al.*, 2012 ; Smith, 2014) pour donner une représentation curvilinéaire de cette accumulation de C avec le temps.

3.2 Le stockage de carbone par les systèmes agroforestiers de l'est de Madagascar

Les stocks de carbone du sol observés pour les 4 traitements sont très différents ($p < 0,05$). Ils sont significativement plus faibles pour les systèmes en riz sur brûlis par rapport aux autres traitements (Fig. 1). Ainsi, par rapport aux cultures sur brûlis, la culture du riz sur abattis permet de stocker $0,41 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$, tandis que les systèmes agroforestiers simples et complexes permettent de stocker respectivement $0,68$ et $0,65 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ après 24 ans, soit respectivement une augmentation de $8,5$ et $8,9 \text{ ‰}$ par an. Nair *et al.* (2009) suggèrent des valeurs de séquestration de carbone dans le sol allant de $0,1$ à $0,25 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$

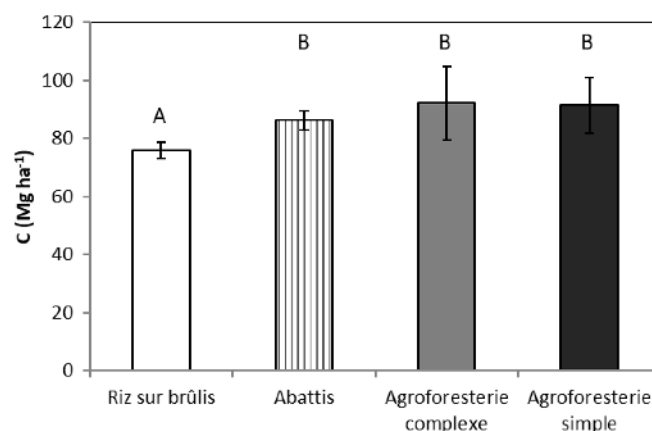


Fig. 1. Stocks de carbone du sol pour des systèmes agroforestiers à base de girofliers dans la partie Est de Madagascar (moyennes et écart-types, $n=4$).

Fig. 1. Soil carbon stocks in cloves agroforestry systems, East of Madagascar (means and standard deviation, $n=4$).

pendant 10 ans pour des systèmes agroforestiers en climat tropical humide. Albrecht *et al.* (données non publiées), dans le cadre d'un projet sur l'agroforesterie au Kenya, suggèrent des valeurs de $0,27 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$. Les valeurs observées à Madagascar sont ainsi relativement élevées. À Madagascar, le stockage de carbone par les systèmes agroforestiers peut être très différent du fait de la diversité des systèmes possibles : arbres et cultures annuelles mélangées (cas de cette étude), arbres et cultures annuelles mélangées suivant des dispositions en ligne, arbres disposés autour de la parcelle cultivée en cultures annuelles, mélange d'arbres de différents types (arbres fruitiers et arbres d'ombrage) formant différentes strates. En Afrique subsaharienne, Corbeels *et al.*, 2018 indiquent des variations de stocks allant de $-9,6$ ($0-40 \text{ cm}$) à $+14 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ ($0-100 \text{ cm}$), ce qui représente des taux d'augmentation de -159 à $+194 \text{ ‰ an}^{-1}$. Des taux de stockage du carbone significativement supérieurs à 4 ‰ ont été trouvés uniquement pour les jachères agroforestières et les systèmes agroforestiers

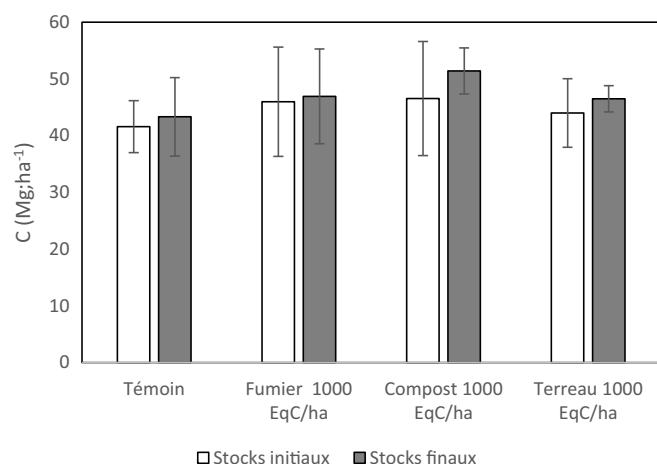


Fig. 2. Stocks de carbone du sol pour des traitements utilisant des intrants organiques : fumier, compost et terreau (moyennes et écart-types, $n = 4$).

Fig. 2. Soil carbon stocks in treatments using organic inputs: manure, compost and urban organic waste (means and standard deviation, $n = 4$).

multistrates, pas pour les cultures en couloirs ni les arbres dispersés dans les champs. En plus du stockage dans le sol, les systèmes agroforestiers permettent également de stocker du carbone dans la biomasse par l'intermédiaire des arbres. Pour les systèmes étudiés ici, ces séquestrations ont été respectivement de 0,47 et 0,63 $\text{Mg C ha}^{-1} \text{an}^{-1}$ pour les systèmes en agroforesterie simple et complexe (Ramandrisoa, 2009). Ces systèmes peuvent ainsi présenter un fort potentiel de séquestration de carbone si on prend en compte les deux compartiments, sol et plante.

3.3 Le stockage de carbone par l'utilisation des intrants organiques

Les valeurs observées avec l'utilisation d'intrants organiques montrent des augmentations du stock de carbone non significatives pour l'ensemble des traitements après 6 ans (Fig. 2). Cela est dû principalement à la variabilité du stock de carbone pour le dispositif étudié. En effet, le dispositif étant mis en place sur un versant, la variabilité spatiale induite par les différences entre blocs de répétitions a été importante. Toutefois, malgré l'absence d'un effet significatif, une tendance à l'augmentation est observée et il n'y a pas de diminution du stock induite par la mise en place des traitements. Ces résultats impliquent que l'utilisation des intrants organiques permet de maintenir la teneur en carbone du sol et de retenir ainsi durablement sa fertilité. Les stockages de carbone sont respectivement de 0,16, 0,81 et 0,42 $\text{Mg C ha}^{-1} \text{an}^{-1}$ pour les traitements utilisant du fumier, du compost et du terreau, alors qu'il est de 0,288 $\text{Mg C ha}^{-1} \text{an}^{-1}$ pour le traitement témoin ; les stocks initiaux étant respectivement de 46,0, 46,6 et 44,0 Mg C ha^{-1} et les stocks finaux de 46,9, 51,4 et 46,5 Mg C ha^{-1} pour les traitements utilisant du fumier, du compost et du terreau. L'utilisation du compost peut ainsi induire une accumulation plus importante de carbone du fait de

sa maturité et de son degré d'humification avancé par rapport aux autres intrants organiques. En effet, la qualité et la quantité des intrants organiques apportés affectent l'accumulation du carbone dans le sol, particulièrement dans les sols présentant des déficits de saturation en carbone élevés, comme les sols tropicaux (Fujisaki *et al.*, 2018).

4 Conclusion

Cette étude a mis en évidence le potentiel de quelques pratiques agricoles climato-intelligentes existant déjà à Madagascar pour augmenter ou maintenir le carbone organique du sol. Elle met toutefois en exergue la difficulté d'évaluation de l'impact de ces pratiques sur le carbone du sol, entre autres du fait de l'importance de la variabilité spatiale, dont il faut tenir compte, car cette variabilité masque dans certaines situations l'effet des pratiques. Il est ainsi important de mettre en place des dispositifs expérimentaux efficaces afin de pouvoir effectuer une quantification précise de l'effet de ces pratiques sur le carbone du sol en milieu paysan tropical.

Références

- Bernard L, Chapuis-Lardy L, Razafimbelo T, Razafindrakoto M, Pablo A-L, Legname E, *et al.* 2012. Endogeic earthworms shape bacterial functional communities and affect organic matter mineralization in a tropical soil. *ISME Journal* 6: 213–22. DOI: [10.1038/ismej.2011.87](https://doi.org/10.1038/ismej.2011.87).
- Bernoux M, Feller C, Cerri CC, Eschenbrenner V, Cerri CEP. 2005. Soil carbon sequestration. In: Roose EJ, Lal R, Feller C, Barthès B, Stewart BA (eds). *Soil erosion and carbon dynamics*. Advances in Soil Science. CRC, Taylor and Francis.
- Chen R, Senbayram M, Blagodatsky S, Myachina O, Dittert K, Lin X, *et al.* 2014. Soil C and N availability determine the priming effect: microbial N mining and stoichiometric decomposition theories. *Global Change Biology* 20: 2356–2367. DOI: [10.1111/gcb.12475](https://doi.org/10.1111/gcb.12475).
- Corbeels M, Cardinael R, Naudin K, Guibert H, Torquebiau E. 2018. The 4 per 1000 goal and soil carbon storage under agroforestry and conservation agriculture systems in sub-Saharan Africa. *Soil and Tillage Research*. DOI: [10.1016/j.still.2018.02.015](https://doi.org/10.1016/j.still.2018.02.015).
- Dou F, Wight JP, Wilson LT, Storlien JO, Hons FM. 2014. Simulation of biomass yield and soil organic carbon under bioenergy sorghum production. *PLoS ONE* 9: e115598. DOI: [10.1371/journal.pone.0115598](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0115598).
- Ellert BH, Bettany JR. 1995. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. *Canadian Journal of Soil Science* 75: 529–538.
- FAO. 2010. "Climate-Smart" Agriculture. Policies, practices and financing for food security, adaptation and mitigation. Rome, Italie: FAO, 40 p.
- Fujisaki K, Chevallier T, Chapuis-Lardy L, Albrecht A, Razafimbelo T, Masse D, *et al.* 2018. Soil carbon stock changes in tropical croplands are mainly driven by carbon inputs: a synthesis. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 259: 147–158.
- Gay-des-Combes JM, Robroek BJM, Herve D, Guillaume T, Pistocchi C, Mills RTE, *et al.* 2017. Slash-and-burn agriculture and tropical cyclone activity in Madagascar: implication for soil fertility dynamics and corn performance. *Agriculture Ecosystems & Environment* 239: 207–218.

- Johnston AE, Poulton PR, Coleman K. 2009. Soil organic matter: its importance in sustainable agriculture and carbon dioxide fluxes. *Advances in Agronomy* 101: 2–57.
- Kleinman PJA, Pimentel D, Bryant RB. 1995. The ecological sustainability of slash-and-burn agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 52: 235–249.
- Kuzyakov Y, Friedel JK, Stahr K. 2000. Review of mechanisms and quantification of priming effects. *Soil Biology and Biochemistry* 32: 1485–1498. DOI: [10.1016/S0038-0717\(00\)00084-5](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(00)00084-5).
- Lal R. 2016. Beyond COP 21: potential and challenges of the “4 per Thousand” initiative. *Journal of Soil and Water Conservation* 71: 20A–25A.
- Lal R, Bruce JP. 1999. The potential of world cropland soils to sequester C and mitigate the greenhouse effect. *Environmental Science and Policy* 2: 177–185.
- Lipper L, Thornton P, Campbell BM, Baedeker T, Braimoh A, Bwalya M, *et al.* 2014. Climate-smart agriculture for food security. *Nature Climate Change* 4: 1068–1072.
- Nair PKR, Nair VD, Kumar BM, Haile SC. 2009. Soil carbon sequestration in tropical agroforestry systems: a feasibility appraisal. *Environmental Science & Policy* 12 (8): 1099–1111.
- Nambiar KKM. 1995. Major cropping systems in India. In: Barnett V, Payne R, Steiner R (eds). *Agricultural sustainability, economic, environmental and statistical considerations*. Chichester: J. Wiley & Sons.
- Paustian K, Lehmann J, Ogle S, Reay D, Robertson GP, Smith P. 2016. Climate-smart soils. *Nature* 532: 49–57.
- Poeplau C, Don A. 2015. Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops. A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 200: 33–41.
- Powlson DS, Bhogal A, Chambers BJ, Macdonald AJ, Goulding KWT, Whitmore AP. 2012. The potential to increase soil carbon stocks through reduced tillage or organic material additions in England and Wales: a case study. *Agriculture Ecosystems and Environment* 146: 23–33. DOI: [10.1016/j.agee.2011.10.004](https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.10.004).
- Powlson DS, Stirling CM, Jat ML, Gerard BG, Palm CA, Sanchez PA, *et al.* 2014. Limited potential of no-till agriculture for climate change mitigation. *Nature Climate Change* 4: 678–683. DOI: [10.1038/nclimate2292](https://doi.org/10.1038/nclimate2292).
- Powlson DS, Stirling CM, Thierfelder C, Whited RP, Jate ML. 2016. Does conservation agriculture deliver climate change mitigation through soil carbon sequestration in tropical agro-ecosystems? *Agriculture, Ecosystems and Environment* 220: 164–174.
- Ramiandrisoa S. 2009. Quantification du stock de carbone dans les systèmes agroforestiers en vue d’une simulation de projet financement de crédits carbone : cas de la Région Analanjirofo et Antsinanana. Mémoire d’ingénieur agronome. École supérieure des sciences agronomiques, Université d’Antananarivo.
- Smith P. 2014. Do grasslands act as a perpetual sink for carbon? *Global Change Biology* 20: 2708–2711. DOI: [10.1111/gcb.12561](https://doi.org/10.1111/gcb.12561).
- Smith JW, Naazie A. 1998. The role of ruminant livestock in soil fertility management in sub-Saharan Africa. In : Lal R (ed). *Soil quality and agricultural sustainability*. Chelsea, MI: Ann Arbor Press, 214–221.

Citation de l'article : Razafimbelo TM, Andriamananjara A, Rafolisy T, Razakamanarivo H, Masse D, Blanchart E, Falinirina M-V, Bernard L, Ravonjariason N, Albrecht A. 2018. Impact de l’agriculture climato-intelligente sur les stocks de carbone organique du sol à Madagascar. *Cah. Agric.* 27: 35001.

