

26

Avril 2008

**TERRE
MALGACHE**

.....
**TANY
MALAGASY**

SPECIAL
semis direct



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO

ECOLE SUPERIEURE DES SCIENCES AGRONOMIQUES

26

Avril 2008

TERRE

MALGACHE



**SPECIAL
SEMIS DIRECT**

TANY

MALAGASY



MACARTHUR

The John D. and Catherine T. MacArthur Foundation

**UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
ECOLE SUPERIEURE DES SCIENCES AGRONOMIQUES**

Les options émises dans les articles publiés par la revue

T A N Y M A L A G A S Y

T E R R E M A L G A C H E

n'engage que leurs auteurs

COMITE «TERRE MALGACHE»

Président d'honneur:

Panja RAMANOELINA

Responsables de rédaction

Jean RASOARAHONA

Responsables d'édition :

Ketakamamy RAJAOBELISON

Didis RAKOTONIAINA


PREFACE

Voici le numéro 26 de « Terre Malgache », qui paraît suivant une formule originale : il s'agit d'un numéro entièrement consacré à l'agriculture sous couverture végétale permanente (SCV), réalisé en partenariat avec le GSDM (Groupement Semis Direct de Madagascar), l'entité qui met au point et vulgarise ces techniques à Madagascar, et l'IRD (Institut de Recherche pour le Développement).

Les contributions que vous trouverez dans cette parution sont les résumés des communications et posters du séminaire International tenu à Antananarivo du 03 décembre au 08 décembre 2007

Est-il nécessaire de mettre en relief l'utilité de la lutte contre l'érosion des sols agricoles, en ces périodes d'incertitude alimentaire mondiale ? Est-il besoin, aujourd'hui où nous constatons quasi-quotidiennement les effets pervers des modifications climatiques (réchauffement, irrégularité des précipitations, météores, etc.) de souligner l'importance de la couverture végétale et des sols pour la séquestration du carbone ?

A ce double titre, nous tenons à saluer la pertinence de l'initiative du GSDM et de l'IRD, et apportons notre modeste contribution en aidant à la dissémination des résultats de cette rencontre.



Jean RASOARAHONA
Directeur de l'ESSA

AVANT PROPOS

« Les sols tropicaux en semis direct sous couvertures végétales »

Ce que l'on appelle un « Sol » en Pédologie (la science du sol) est la partie très superficielle de l'écorce terrestre qui est comprise de la surface (du sol) jusqu'à la roche altérée et qui est constituée de matériaux meubles minéraux et organiques divers. Ce ne sont donc pas seulement les premiers centimètres de terre sous nos pieds comme on le pense trop souvent. Compte tenu des conditions climatiques (pluviosité, température) les sols des zones inter-tropicales sont très différents des sols des régions des climats froids et tempérés, et, en particulier sont beaucoup plus profonds : souvent d'épaisseur inférieure à 1 mètre sous climats froids et tempérés, ils sont de plusieurs mètres à dizaines de mètres en milieu tropical.

A côté du climat, d'autres facteurs (eux-mêmes en interactions entre eux) comme la végétation, la topographie, la nature des roches et leur ancienneté, l'activité biologique (faune et microorganismes), et d'une manière générale le mode de gestion des terres, vont influencer les PROPRIÉTÉS des sols, que ce soit dans une perspective de mise en valeur agricole, pastorale ou forestière ou dans une perspective de maintien de l'environnement. En effet, de par ses propriétés, le sol va exercer différentes FONCTIONS comme, par exemple, celles de :

- réserve de nutriments pour la plante et les organismes vivants du sol,
- support organisé et aéré pour les plantes, mais aussi pour la circulation de l'eau,
- lieu de stockage d'éléments qui peuvent être nocifs pour la plante et l'homme comme les métaux lourds et les pesticides
- source ou puits de gaz à effet de serre, une préoccupation récente mais majeure.

C'est aussi lors de la formation des sols, aux échelles des millénaires, que se constituent des gisements de minerais, comme le fer, la bauxite, etc.

A ces FONCTIONS correspondent donc des SERVICES (que l'on qualifie d'« écosystémiques ») rendus par le sol pour les populations humaines, en particulier :

- le niveau de fertilité du sol,
- la régulation des flux d'eau qui conditionnent l'infiltration dans le sol ou au contraire le ruissellement à sa surface qui donne naissance à l'érosion hydrique,
- la détoxification des polluants,
- la régulation de la composition de l'atmosphère et donc des effets sur les changements climatiques,
- la densité et la biodiversité des organismes dans le sol qui interviennent directement dans tous les points évoqués ci-dessus.

Or le sol est une ressource non renouvelable aux échelles humaines. Reconstituer la surface d'un sol après érosion demande des centaines à des milliers d'années.

Dans les pays tropicaux en voie de développement, la démographie croissante, l'insécurité alimentaire grandissante, se traduit par une pression foncière de plus en plus forte. Il en résulte que les systèmes traditionnels de Défrichement-Culture-Jachère (le Tavy à Madagascar), en particulier sur les pentes (Tanety à Madagascar) qui étaient adaptés à une population faible et stable ne sont plus adaptés aux productions végétale et

animale à un niveau suffisant. La perpétuation de ces systèmes conduit donc à une dégradation générale des sols : baisse de fertilité, augmentation de l'érosion, perte de biodiversité faunique et microbienne.

Par ailleurs, dans un contexte de forte pauvreté, le paysan ne peut souvent pas prendre des risques de dépenses comme l'achat d'engrais commerciaux, à moins que des systèmes d'accès à ces ressources ne soient favorisés comme le microcrédit, diverses subventions, etc.. Il en résulte que dans de nombreux pays en développement, la consommation d'engrais, qu'ils soient minéraux ou organiques, importés ou locaux, est à un niveau très faible et largement en dessous de ce qu'il devrait être pour apporter au sol les éléments nutritifs exportés par les récoltes, les fourrages et l'exploitation des forêts, sans compter les pertes d'éléments nutritifs hors du champ par l'érosion. A Madagascar, par exemple la consommation d'engrais NPK est nettement inférieure à 10 kg/ha/an alors que 5 à 10 fois plus serait nécessaire pour une productivité correcte. C'est le cas particulièrement pour les rizières de bas-fond. L'agriculture est alors taxée de pratique « minière ». Toutefois, le seul apport d'engrais est insuffisant, car quel que soit le niveau de l'apport, la plante prend une partie de ses éléments nutritifs aussi dans le sol (par exemple, 50 % pour l'azote). Par ailleurs, de nombreux sols tropicaux (dont Madagascar), mêmes s'ils ne sont pas pauvres en certains éléments fertilisants, peuvent, de par leur propriété naturelle, rendre ces éléments indisponibles pour la plante, c'est le cas du phosphore.

On voit donc que le problème de gestion des terres pour l'agriculture est complexe, et que le sol y a une place majeure et représente un capital pour la production agricole, mais aussi pour la défense de l'environnement.

Pour Madagascar, on peut schématiser en :

- mieux gérer les bas-fonds pour augmenter les rendements des cultures. C'est entre autres, concernant le sol, arriver à un niveau de fertilisation plus élevé à un coût acceptable pour le paysan. Il faut donc favoriser tout ce qui est de l'ordre des ressources naturelles locales comme : utilisation des légumineuses pour l'azote, valorisation des déchets organiques (végétaux, animaux ou industriels) ruraux et urbains, utilisation des dépôts de phosphates naturels (roches, guanos), chaulage, etc.
- cultiver les pentes des tanety, mais avec le souci : (i) d'assurer une productivité végétale ou animale correcte, (ii) de ne pas favoriser les phénomènes d'érosion en laissant le sol le plus couvert possible pour diminuer l'impact des pluies, (iii) de restituer des éléments nutritifs dans la couche de sol où se développent les racines, soit par des apports extérieurs, soit par des recyclages à partir de la profondeur du sol. Concernant la lutte contre l'érosion, les techniques préconisées par le passé, tels que aménagements en courbe de niveau, terrasses en banquettes, sont d'un coût généralement trop élevé pour un paysan pauvre, et ont montré des limites d'efficacité en milieu tropical, et doivent donc être repensées.

Par ailleurs, une fois élaborées des alternatives nouvelles de gestion des terres, il faut s'assurer que celles-ci ne sont pas pénalisantes pour les problèmes d'environnement à l'échelle mondiale comme le changement climatique du à l'effet de serre d'origine anthropique. Or les écosystèmes sol-plante terrestres, selon leur mode de gestion,

peuvent constituer soit une source soit un puits de gaz à effet de serre (responsables du réchauffement), en particulier de gaz carbonique (CO₂). Concernant les sols, il faut donc évaluer dans quelles conditions de gestion ceux-ci vont « séquestrer » du carbone (provenant du CO₂ atmosphérique) ou au contraire en émettre. Ce processus est intitulé « la Séquestration du Carbone ». Le potentiel des sols pour ce service écosystémique est tout à fait important.

A l'interface de tous ces aspects se situent les rôles majeurs (et liés) joués par :

- les restitutions organiques au sol,
- le niveau du stock de matière organique existant dans le sol.

Sur ces bases, diverses alternatives de gestion des terres sont testées dans les régions intertropicales. Elles participent de ce qui est généralement dénommé l'« Agroécologie ». Elles sont toutes basées sur la nécessité : (i) de restituer au sol des quantités élevées de matières organiques (d'origine variées), (ii) de couvrir le sol le plus possible pour lutter contre l'érosion, (iii) de favoriser le stockage de matière organique dans le sol car celle-ci exerce un rôle capital aussi bien du côté de la fertilité que du côté environnemental (c'est elle qui est le compartiment de séquestration du carbone). Ces alternatives sont : les plantations sylvicoles, l'agroforesterie, le non brûlis des terres que ce soit des jachères, des résidus de récolte ou de certaines cultures comme la canne à sucre et, plus récemment (à Madagascar), les « systèmes de cultures en semis direct, sans travail du sol sous couverture végétale » communément désignés SCV et qui sont l'objet de ce séminaire international.

Ces systèmes SCV ont fait leurs preuves (agricoles et environnementales) dans des pays tels que les USA, le Brésil, l'Argentine, dans des conditions de grandes cultures relativement intensifiées. Ces systèmes restent à tester et développer dans d'autres contextes biophysiques et socio-économiques de petit paysannat, souvent pauvre, que ce soit en Afrique, à Madagascar et en Asie du Sud-Est.

A Madagascar, la recherche sur la diversité des systèmes à mettre en œuvre, sur leur développement et sur leur appropriation par les paysans a commencé depuis plus d'une décennie, plus particulièrement dans le Vakinankaratra, l'Alaotra et le Sud Est. Elles concernent plus particulièrement la mise en valeur des zones pentues des collines (Tanety).

Le séminaire international qui est organisé du 4 au 6 décembre à l'hôtel Panorama, porte essentiellement sur l'effet que ces nouveaux systèmes ont sur les PROPRIÉTÉS de divers types de sols dans divers pays des régions intertropicales (et méditerranéennes), sur les FONCTIONS du sol qui sont assurées et sur les SERVICES écosystémiques qui sont rendus ou non. Les participants proviennent, outre de Madagascar, des USA, du Brésil, du Laos, de Thaïlande, de Tunisie, du Burkina-Faso, du Cameroun, du Zimbabwe et de France.

Le séminaire est précédé par une conférence « grand public » de C. Feller (IRD) et L. Rabearisoa (Univ. Antananarivo) sur le Sol à l'hôtel Carlton, le 3 décembre à 18h00.

Le séminaire se déroulera, sous forme de 4 symposiums et d'une conférence-débat :

- Symposium 1 : Séquestration du carbone
- Symposium 2 : Diversité et abondance des organismes du sol
- Symposium 3 : Eléments nutritifs majeurs et mineurs
- Symposium 4 : Ruissellement, infiltration et érosion
- Conférence-débat : « Le capital sol, cas des systèmes SCV ».

Les 7 et 8 décembre, les participants visiteront sur le terrain, les réalisations en matière des sols sous SCV, dans la région du Vakinankaratra.

Dr Christian FELLER
Pr Lilia RABEHARISOA

Présidents du Comité d'organisation du
Séminaire « Les sols tropicaux en semis
direct sous couvertures végétales » .

Séminaire International
Les sols tropicaux en semis direct sous couvertures végétales
Antananarivo, 3-8 décembre 2007

Organisé par :



Avec le soutien financier de :



SOMMAIRE

COMMUNICATIONS ORALES

SYMPOSIUM 1 : SEQUESTRATION DU CARBONE

Stockage de carbone dans les sols avec des systèmes de culture en semis direct avec couverture végétale (SCV) dans les Cerrados brésiliens : résultats d'étude synchrones et diachrones	1
par. Martial BERNOUX ; Anne-Sophie PERRIN ; Marcos SIQUEIRA NET et al	
Stockage potentiel de carbone dans les sols avec de systèmes de culture en semis direct avec couverture végétale (SCV) dans les Cerrados brésiliens.....	5
par Marc CORBEELS ; Eric SCOPEL ; Fernando A. MACENA DA SILVA et al	
Séquestration du carbone pour deux systèmes de culture, traditionnel et semis direct sous couvert végétal, au Laos	9
par Sylvain HUON ; Hendrina DE ROUW ; Olivier RIBOLZI et al	
SCV à Madagascar : Impacts sur les communautés microbiennes impliquées dans l'émission de N ₂ O.....	13
par Lydie CHAPUIS-LARDY ; Ezekiel BAUDOIN ; Laurent PHILIPPOT et al	
Modéliser les flux de N ₂ O à partir de sols sous différents systèmes de culture: comment éviter les limites des mesures	17
par Aurélié METAY ; Antoine FINDELING ; Robert OLIVER et al	
Stockage de carbone dans le sol sous systèmes en semis direct sous couvert végétal suivant différents contextes pédoclimatiques. Cas du Sud-Est, du Centre-Nord et du Sud-Ouest de Madagascar.....	21
par Tantely RAZAFIMBELO ; Alain ALBRECHT ; Haja RAVELOJAONA et al	

SYMPOSIUM 2 : DIVERSITE ET ABONDANCE DES ORGANISMES DU SOL

Fonctionnement du sol sous SCV au Brésil et à Madagascar : Abondance et rôle des ingénieurs du sol sur la dynamique du carbone du sol.....	25
par. Eric BLANCHART ; Bernard BARTHES ; Martial BERNOUX et al	
Activités biologiques et dynamique de la matière organique du sol sous systèmes de culture en semis direct sur couverture végétale (Hauts plateaux de Madagascar).....	29
par Bodovololona RABARY ; Eric BLANCHART et al	

Les vers blancs du riz pluvial d'altitude (Col. Scarabaeoidea) à Madagascar : effets de la plante-hôte et de la matière organique du sol sur le comportement larvaire.....	35
--	----

par

R. RANDRIAMANANTSOA ; Alain RATNADASS ; Henri P. ABERLENC et al

Impacts d'un système de culture à base de riz pluvial et de semis direct sur couverture végétale (SCV) sur la macrofaune du sol à Madagascar, avec référence particulière aux effets sur la production du riz.....	39
--	----

par

Alain RATNADASS ; R. RANDRIAMANANTSOA ; T. E. RAJAONERA et al

Evolution de l'entomofaune et de l'abondance d'Heteronychus spp (Scarabaeidae – Dynastinae) sur riz pluvial sous couverture végétale morte et contrôle biologique de ce ravageur par utilisation de Metarhizium anisopliae à Madagascar.....	43
--	----

par

C. RAZAFINDRAKOTO ; H. L. RAKOTOARISOA ; A. RAZAFINDRAKOTOMAMONJY

Les nématodes, reflet du fonctionnement biologique des sols en semis direct sous couverture végétale.....	47
---	----

par

Cécile VILLENAVE ; Djibril DJIGAL ; Eric BLANCHART et al

SYMPOSIUM 3 ELEMENTS NUTRITIFS MAJEURS ET MINEURS

Biodisponibilité des nutriments : cas des sols tropicaux conduits en semis direct sous couverts végétaux	51
--	----

par.

Lilia RABEHARISOA

L'écobuage : une pratique à faible coût pour restaurer rapidement la fertilité du sol et augmenter la production	53
--	----

par

Roger MICHELLON ; Narcisse MOUSSA ; Célestin RAZANAMPARANY et al

Dynamique et valorisation de l'azote dans les systèmes de culture en semis direct avec couverture végétale (SCV) des Cerrados Brésiliens.....	57
---	----

par

Eric SCOPEL ; Alexandra MALTAS ; Marc CORBEELS et al

Bilan des apports et des exportations de phosphore dans des sols Malgaches cultivés selon deux systèmes de culture, l'un avec semis direct sur couvert végétal et l'autre avec labour.....	61
--	----

par

Harilala ANDRIAMANIRAKA ; Lilia RABEHARISOA et al

Dynamique et offre d'azote minéral des sols ferrallitiques sur alluvions volcano-lacustres de la région du Vakinankaratra des Hauts Plateaux Malgaches, on semis direct sous couverture végétale.....	65
par Jacqueline RAKOTOARISOA ; Eric SCOPEL ; Robert OLIVER et al	
Evaluation du potentiel infectieux mycorrhizogène du sol en semis direct du dispositif d'Andranomanelatra de l'ONG TAFE Antsirabe.....	69
par Berthe RASOAMAMPIONONA ; Lilla RABEHARISOA ; Alice ANDRIANJAKA et al	
Effets des systèmes de culture sur la fertilité des sols d'un bassin versant cultivé sur fortes pentes au Laos	73
par Oloth SENGTAHEUANGHOUNG ; Anneke DE ROUW ; Alounsavath CHANPHENGXAY et al	

SYMPOSIUM 4 RUISSELEMENT INFILTRATION ET EROSION

Erosion et conservation des sols dans des bassins versants du Laos	77
par Christian VALENTIN ; Sylvain HUON ; Anneke de ROUW et al	
Les techniques d'Agriculture de Conservation sont elles capables de faire mieux que le Zaï manuel ou mécanique pour protéger ou réhabiliter les sols du Sahel ?	81
par Albert BARRO ; Florent MARAUX ; Robert ZOUGMORE et al	
Effet d'une légumineuse de couverture sur le ruissellement et l'érosion dans des systèmes de culture à base maïs au sud-Bénin	87
par Bernard BARTHES ; Anastase AZONTONDE ; Christian FELLER	
Contrôle d'érosion du sol au Brésil par la technique de semis direct : points importants à considérer	91
par Neroli P. COGO ; José E. DENARDIN ; Ildegardis BERTOL et al	
Evolution de l'érosion aratoire dans les systèmes de culture sur brûlis sur fortes au Laos	95
par Anneke de ROUW ; Brice DUPIN ; Khambay PHANTAHVONG et al	
Réduction du ruissellement et de l'érosion par les systèmes de culture en semis direct avec couverture végétale pour les cultures pluviales des hautes terres malgaches....	99
par Jean-Marie DOUZET ; Bertrand MULLER ; Eric. SCOPEL et al	

CONFERENCE DEBAT :

LE CAPITAL SOL, CAS DES SYSTEMES SCV

Capital naturel et développement durable à Madagascar.....	107
par	
Timothée OLLIVIER, Pierre-Noël GIRAUD	

COMMUNICATIONS POSTERS

SYMPOSIUM 1

Bilan de carbone sous système de culture intensif	113
par	
João Carlos DE MORAES SÁ, Lucien SÉGUY, Olivier HUSSON et al	
Estimation des stocks de carbone dans les sols malgaches.....	115
par	
Clovis GRINAND, Andriantahina RAJAONARIVO, Vincent PAJOT et al	
Afforestation et stockage du carbone dans le sol et la végétation. Cas de la lisière ouest du corridor forestier de Fianarantsoa (Madagascar).....	121
par	
Noroso Christine RAZAFINDRAMANANA, Georges SERPANTIE, Stéphanie CARRIERE, Marie Antoinette RAZAFINDRAKOTO, Eric BLANCHART, Alain ALBRECHT	
Stocks de carbone du sol des zones de jachère du corridor forestier de Vohimana.....	125
par	
Hery RAZAFIMAHATRATRA, Lilia RABEHARISOA, Alain ALBRECHT	
Le potentiel de stockage de carbone du semis direct en comparaison d'autres techniques culturales.....	129
par	
Tiphaine CHEVALLIER , Aurélie METAY , Dominique ARROUAYS et al	
Matière organique du sol et productivité végétale sous différentes pratiques agricoles : essai de longue durée et modélisation de la dynamique du carbone dans un environnement soudano-sahélien.....	133
par	
Edmond Hien, Francis Ganry, Robert Oliver et al	
Emission in-situ de N ₂ O d'un ferrasol argileux Malgache cultivé sous SCV ou labour.....	137
par	
Michel RABENARIVO, Julien ANDRIAMIARAMIANTRAFERANA et al	
Les sols sous eucalyptus des Hautes Terres centrales malgaches sont-ils des puits de carbone ?.....	141
par	
Herintsitohaina RAZAKAMANARIVO , Marie Antoinette RAZAFINDRAKOTO , Alain ALBRECHT et al	

Carbon and nitrogen assessment in soils under unburned sugarcane using NIRS-LS-SVM models.....	145
par	
Sandra Maria OLIVEIRA SÁ , Christian FELLER , Marco Flores FERRÃO et al	
SYMPOSIUM 2	
Impacts des SCV sur la macrofaune, cas du coton au Nord Cameroun.....	149
par	
Krishna NAUDIN , Simon BIKAY, Jean Michel MALDES, Thierry BREVAULT ,	
Dispositifs pour l'évaluation des impacts des systèmes de culture sur les dégâts des insectes terricoles sur le riz pluvial a Madagascar	153
par	
Alain RATNADASS , Emile RAFAMATANANTSOA et al	
SYMPOSIUM 3	
Risque de l'allélopathie de l'orge sur le blé dur en semis direct.....	157
par	
Moncef BEN-HAMMOUDA, Iness DRIDI, Samira GHOUIL et Habib SASSI	
Effets à court terme du semis direct sur certaines propriétés du sol en zone semi-aride.....	161
par	
Nadhira BEN AISSA, Bassem DIMASSI et Moncef BEN-HAMMOUDA	
Caractérisation du système racinaire du riz pluvial sous différentes modes de gestion du sol.....	165
par	
Julie DUSSEYRE , Ando Mariot RADANIELSON et al	
Caractérisation et évaluation de systèmes de culture agroforestiers à base de cacaoyers au Cameroun en fonction des conditions environnementales et de la gestion de la fertilité.....	167
par	
Florent GLATARD , Patrick JAGORET , Frank ENJALRIC	
« Paillasses » et « pailles » paysans (Afrique de l'Ouest, Madagascar).....	171
par	
Georges SERPANTIÉ	
Efficience de diverses techniques biologiques de gestion conservatoire de la fertilité du sol.....	173
par	
Marie Antoinette RAZAFINDRAKOTO , Jean Chrysostôme RANDRIAMBOAVONJY , Nicolas ANDRIAMAMPIANINA	
SYMPOSIUM 4	
Effet du semis direct sous couvert végétal sur l'infiltration et le ruissellement, et simulation du bilan hydrique dans les systèmes de culture à base de coton au Nord Cameroun.....	177
par	
Guilhem SOUTOU , Krishna NAUDIN , Oumarou BALARABÉ , O. ADOUM , Eric SCOPEL	

COMMUNICATIONS ORALES

SYMPOSIUM 1 : SEQUESTRATION DU CARBONE

Stockage de carbone dans les sols avec des systèmes de culture en semis direct avec couverture végétale (SCV) dans les Cerrados brésiliens : résultats d'étude synchrones et diachrones.

Martial BERNOUX¹, Anne-Sophie PERRIN², Marcos SIQUEIRA NETO³, Eric BLANCHART¹, Carlos CLEMENTE CERRI³, Carlos Eduardo Pellegrino CERRI⁴, Marc CORBEELS⁵, Jean-Marie DOUZET⁶, Vincent ESCHENBRENNER¹, Aurélie METAY⁷, Alexandre NUNEZ CARDOSO⁸, Marisa de Cassia PICCOLO³, Eric SCOPEL⁹, Lucien SEGUY¹⁰, Christian FELLER¹¹.

¹ UR SeqBio, IRD, SupAgro-Bat 12, 2 place Viala, 34060 Montpellier Cedex 1, France

² ECOLAB-UMR 5242, ENSAT, Avenue de l'Agrobiopole BP 32607 Castanet Tolosan Cedex, France

³ Lab Biogeoquímica Ambiental, CENA-USP, CP93, 13400-970 Piracicaba-SP, Brésil

⁴ ESALQ-USP, CP 9, 13418-900 Piracicaba-SP, Brésil

⁵ UMR System, CIRAD PERSYST, TSBF-CIAT, P.O.Box MP 228, Mt. Pleasant, Harare, Zimbabwe

⁶ URP SCRiD, BP 230, 110 Antsirabe, Madagascar

⁷ ISTOM, 32 Boulevard du Port, 95094 Cergy-Pontoise, France

⁸ Embrapa-Cerrados, PO Box 8233, 73301-970 Planaltina, DF, Brésil

⁹ UMR System, CIRAD PERSYS, EMBRAPA Cerrado, PO Box 8233, 73301-970 Planaltina, DF, Brésil

¹⁰ UPR1, TA B-01 / 07, Avenue Agropolis, 34398 Montpellier Cedex 5, France

¹¹ UR SeqBio, IRD, BP 434, 101 Antananarivo, Madagascar.

1. Introduction

Les systèmes de semis direct sous couvertures végétales (SCV) ont été largement adoptés au cours des 15 dernières années dans la région des Cerrados brésiliens. Ces systèmes, avec deux cultures dans le cycle annuel, sans travail du sol, se substituent à la traditionnelle mono-culture du soja avec travail du sol (systèmes labourés – SL). L'objectif de cette étude était d'étudier comment les systèmes SCV modifient les dynamiques du carbone organique du sol. Pour ce faire, des situations ont été sélectionnées dans les états brésiliens du Goiás et du Mato Grosso.

2. Matériel et Méthodes

Deux types de situations ont été retenus, d'une part des essais agronomiques contrôlés (Sinop dans le Mato Grosso et Montividiu dans le Goiás), d'autre part une sélection de situations culturales en milieu réel, représentatives de la région de Rio Verde (Goiás). L'essai de Montividiu a été étudié en diachronie avec deux échantillonnages, l'un à la mise en place de l'essai (2002), l'autre 39 mois plus tard (2005). L'essai de Sinop a été étudié selon une approche synchrone, 5 ans après sa mise en place. La sélection de Rio Verde, est composée de parcelles utilisées en SCV (Soja suivi d'une deuxième culture, en général de maïs) selon un gradient d'âge croissant d'utilisation allant de 1 à 12 ans avec ce mode de gestion. Pour permettre une comparaison avec la végétation native de la région et avec l'utilisation antérieure, une situation sous Cerrado (savane arborée CER) et une parcelle conduite traditionnellement avec travail du sol (SL) ont également été étudiées. A Sinop le système SCV étudié (SCV-1) consiste en une culture de soja avec des plantes de couvertures à forte biomasse telles que *Eleusine coracana*, *Brachiaria* sp et le sorgho. A Montividiu 2 systèmes sont étudiés : SCV2 soja et sorgho, SCV3 soja suivi de *Eleusine coracana* et de crotalaire. Pour chaque situation étudiée, le sol a été échantillonné dans 18 fosses (6 fosses pour 3 répétitions) de dimension 50x50x60 cm, et récolté avec des cylindres à cinq profondeurs : 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm. Les échantillons de sol ont été séchés à l'air et tamisés à 150 µm pour la détermination du C organique total par combustion sèche (analyseur de carbone LECO® CR-2000). Pour chaque échantillon, la densité apparente a été déterminée en pesant la masse de sol échantillonné et après détermination de l'humidité du sol.

3. Résultats

Sinop : Les stocks de C (0-30 ou 0-40 cm) ne sont pas significativement différents entre la forêt et les systèmes cultivés. Le système SCV1 présente des stocks plus élevés que sous forêt (mais pas significativement différents), alors que le système labouré (SL) présente des stocks plus faibles. Par contre la différence ($1,07 \text{ kg C.m}^{-2}$) est significative entre ces deux groupes (SCV1 versus SL). Si l'on rapporte ces différences de stocks par rapport à la durée et le type de travail du sol : 10 ans de travail conventionnel pour SL et 10 ans de mise en culture pour SCV1 dont 5 ans selon le système SL. L'accroissement annuel de C pour le système SCV1 est de $0,17 \text{ kg C.m}^{-2}$ par an ou encore $1,7 \text{ tC.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$ pour la couche 0-40 cm, et $1,6 \text{ tC.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$ pour la couches 0-30

Montividiu : Le tableau 1 rapporte les stocks calculés sur les 40 premiers centimètres et les 400 premiers kg de sol par m^2 entre mars 2002 (7 mois après la mise en place de l'expérimentation) et juin 2005, soit 39 mois après la première mesure.

Tableau 1. Stocks de C (moyennes et écart-types) mesurés à Montividiu en 2002 et 2005

Traitement	Stocks de C pour la couche 0-40cm.			Stocks de C pour une masse équivalente de 400 kg.m ⁻² de sol		
	Mesures de 2002	Mesures de 2005	ΔC	Mesures de 2002	Mesures de 2005	ΔC
SL	9,9±0,6	8,7±0,7	-1,2	9,6±0,6	8,6±0,5	-1,0
SCV2	9,4±0,9	8,7±0,6	-0,7	9,2±0,9	8,5±0,6	-0,7
SCV3	9,6±0,7	8,6±0,7	-1,0	9,4±0,7	8,5±0,6	-0,9

Tous les systèmes accusent une perte de C qui varie entre 0,7 et 1,2 kgC.m⁻² en 39 mois soit une baisse moyenne allant de 0,2 à 0,4 tC.ha⁻¹.an⁻¹.

Rio Verde : Les stocks de C établis pour les premiers 40 cm de sol pour les situations de Rio Verde sont présentés sur la figure 1. Le taux d'accumulation de C sous les SCV a été calculé sur la base de l'âge de la parcelle exprimé en mois après le dernier travail du sol conventionnel. Avec l'hypothèse que toutes les situations auraient eue le même stock de C à la mise en place des systèmes SCV, l'accroissement annuel serait de 2,2 tC.ha⁻¹.an⁻¹ ; mais après correction en fonction de l'historique propre à chaque parcelle (date de défrichement et nombre d'années en SL) le taux d'accumulation est revu à la baisse à 1,26 tC.ha⁻¹.an⁻¹ pour la couche 0-40cm.

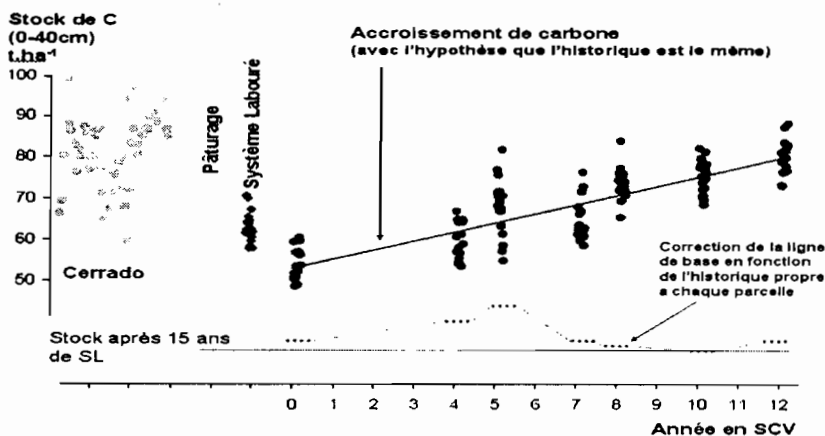


Figure 1. Stock de carbone des différentes situations et évolution des stocks de carbone selon l'approche synchronique (adapté de Siqueira Neto, 2006).

4. Conclusion

Les résultats des études menées en synchronie montrent une accumulation de C dans les sols menés en SCV de l'ordre de 1,2 à 1,7 tC.ha-1.an-1, par contre l'étude menée en diachronie indique, contre toute attente, une tendance à la baisse. Toutefois le pas de temps trop court ne permet pas de conclure puisque ces variations peuvent être en grande partie être le reflet d'une variabilité temporelle infra-annuelle. L'idéal serait des mesures selon un pas de temps supérieur de l'ordre de la dizaine d'année. Il serait aussi idéal d'étudier les parcelles commerciales de Rio Verde selon une approche en diachronie afin d'éliminer les erreurs qui peuvent être introduite par la ligne de base propre à chaque parcelle. Ces résultats sont préliminaires et seule une reconstitution précise de l'historique de chaque parcelle (culture, rendement, production de résidus) permettra d'affiner ces valeurs.

5. Références

- Perrin A.S. 2003. Effets de différents modes de gestion des terres agricoles sur la matière organique et la biomasse microbienne en zone tropicale humide au Brésil. Mémoire de cycle post-grade en Science de l'Environnement de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne. 68 p. + annexes.
- Siqueira Neto M. 2006. Estoque de carbono e nitrogênio do solo com diferentes usos no Cerrado em Rio Verde (GO). Thèse de l'Université de São Paulo, Piracicaba. 162pp.

Stockage potentiel de carbone dans les sols avec de systèmes de culture en semis direct avec couverture végétale (SCV) dans les Cerrados brésiliens

Marc CORBEELS ^{1,2}, Eric SCOPEL ^{1,3}, Fernando A. MACENA DA SILVA ³, Martial BERNOUX ⁴ and Alexandre Nunes CARDOSO ³

¹ UMR System, CIRAD, Avenue Agropolis, 34398 Montpellier Cedex 5, France

² TSBF-CIAT, P.O.Box MP 228, Mt. Pleasant, Harare, Zimbabwe

³ Embrapa-Cerrados, PO Box 8233, 73301-970 Planaltina, DF, Brazil

⁴ UR SeqBio, IRD, 911 Avenue Agropolis, BP64501, 34394 Montpellier Cedex 5, France

1. Introduction

Depuis les années 70, la région des Cerrados a connu une forte expansion de l'agriculture intensive et actuellement à peu près 30% de la végétation naturelle a été convertie en pâturages ou parcelles agricoles. Pour réduire les problèmes de dégradation des sols, les gros producteurs de ces régions ont développé durant les 10-15 dernières années des systèmes de semis direct avec couverture végétale (SCV). Aujourd'hui ces systèmes sont appliqués sur plus de 4 millions d'hectares. Par contre, les petits producteurs de l'agriculture familiale et particulièrement du secteur de la réforme agraire appliquent plus rarement ce type de technologies alors qu'ils rencontrent les mêmes types de problèmes pour la durabilité de la gestion de leurs sols.

L'objectif de cette étude était d'estimer la capacité de séquestration du carbone dans les systèmes en SCV de la région des Cerrados, à la fois chez les petits et les gros producteurs de grains. La méthode a consisté à combiner des données expérimentales mesurant les niveaux de carbone du sol avec une modélisation de la dynamique de cet élément pour analyser et explorer les potentiels de séquestration du C avec un nombre limité mais représentatif de systèmes de culture.

2. Matériels et méthodes

La zone d'étude est située, d'une part dans les municipalités de Rio Verde (17°47'S, 51°55' W) et Montividiu (17°24'S, 51° 14'W) de l'état de Goiás, sur un plateau au centre de la région des Cerrados (pour les gros producteurs), et d'autre part dans celle d'Unai (16° 38'S, 46° 88' W) de l'état du Minas Gerais, à 170 km de Brasília (pour les petits producteurs). Des parcelles de producteurs en SCV d'âges différents ont été échantillonnées (0-20 cm) pour déterminer les teneurs en C et N et la densité apparente du sol. Pour servir de référence les sols de situations sous végétation naturelle des Cerrados ont aussi été caractérisés.

Le modèle G'DAY

Nous avons utilisé un modèle générique de décomposition organique et rendements des cultures (G'DAY, décrit en détails par Comins et McMurtrie 1993) pour simuler les changements de C et N du sol en fonction de la gestion des cultures. G'DAY est un modèle liant sol et plante qui utilise le sous-modèles bien connu CENTURY pour simuler la décomposition de la matière organique CENTURY (Parton et al. 1993).

3. Résultats et discussion

3.1. C et N dans les sols ferralitiques des gros producteurs de Rio Verde–Montividiu

Les teneurs en C organique des sols en surface (0-20 cm) sont fortement liées à leur teneur en argiles+limons et au nombre d'années en SCV (ces deux facteurs expliquant 76% de la variabilité de l'échantillon). L'augmentation moyenne ($P < 0.001$) de la teneur en MOS (0-20 cm, corrigée pour les variations de densité apparentes) a été de 0.83 Mg/ha/an. Le N total du sol (0-20 cm) a augmenté ($P < 0.05$) en moyenne de 79 kg/ha/an sous SCV.

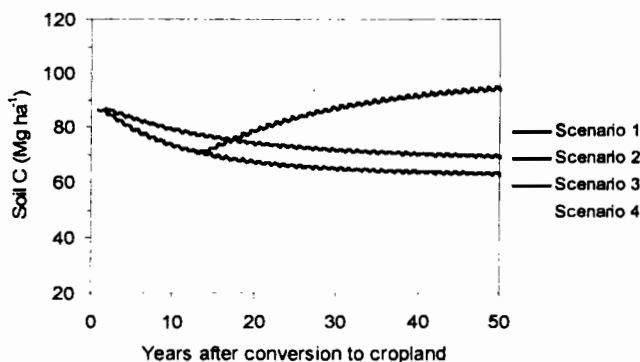
C et N dans les sols des petit producteurs à Unai

Cette zone est caractérisée par une large gamme de types de sols de différente texture qui s'accompagne également d'une large variabilité de leur teneur en C : 40 % de la variabilité en C du sol est expliquée par la teneur en argile+limon.

3.2. Les simulations par modèle

Les simulations ont été réalisées avec l'hypothèse que le modèle estime de façon raisonnablement correcte la production totale de biomasse des cultures ainsi que leur rendement s en grains, et par conséquent les restitutions en C au système. Cet élément est en effet déterminant sur la dynamique du C et donc sur la capacité du modèle à la rendre correctement.

La figure 1 représente un exemple des sorties du modèle. Elle montre les changements de MOS simulés pour un différents type de systèmes de culture continus sur un sol ferralitique argileux (5 % de limons, 75 % d'argiles) et sablo-argileux (5 % de limon, 40 % d'argile), classiquement rencontrés dans la région, durant 30 ans après défriche de la végétation naturelles des Cerrados.



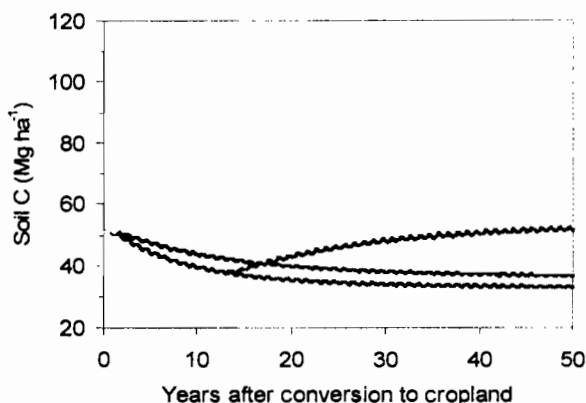


Figure 1. Evolution simulée des teneurs en C organique (a) et en N total (b) dans la strate 0-40 cm d'un sol ferrallitique argileux ou sablo-argileux pour différents scénarios de systèmes de culture à Rio Verde/Montividiu. Scénario 1: monoculture de soja en conventionnel CT; Scénario 2: monoculture du soja en semis direct SD; Scénario 3: monoculture de soja en CT (13 ans) suivi par un SCV Soja-Maïs; Scénario 4: SCV Soja-Maïs; L'année 0 représente les conditions initiales sous végétation naturelle des Cerrados (type Cerrado *sensu strictu*).

CT: preparation conventionnelle ; SD: semis direct; SCV: semis direct avec couverture végétale

En relation avec les résultats expérimentaux, le modèle a simulé que l'intensification des systèmes de culture par l'utilisation de SCV en remplacement de la monoculture du soja chez les gros producteurs conduit à un important stockage du carbone dans le sol. Nous avons simulé une accumulation nette pouvant aller de 0.53 à 1.03 Mg C ha⁻¹ an⁻¹ (0-40 cm) durant les 12 premières années en fonction de la texture du sol. Le stockage de ce carbone peut se faire parce que les sols en ont auparavant perdu durant de nombreuses années en monoculture du soja. Comme l'illustrent les simulations avec G'DAY des quantités de C bien inférieures sont stockées sous SCV lorsque ce dernier est appliqué juste après défriche.

En contraste, chez les petits producteurs, les quantités de carbone stockées dans les sols, même en SCV, sont bien plus faibles. L'augmentation des stocks de C du sol sous semis direct se doit essentiellement à l'introduction d'une deuxième culture dite de couverture qui permet une plus grande production primaire nette du système amenant à une augmentation des restitutions organiques au sol. Cela signifie que les bilans nets d'autres éléments nutritifs liés à la productivité globale du système jouent un rôle crucial sur ce stockage du carbone. Dans le cas des petits producteurs, les difficultés d'accès à des fertilisants chimiques et les moindres niveaux de productivité conduisent à de moindre stockage en C dans les sols, même en SCV.

4. Conclusions

Cette étude a démontré le potentiel des systèmes en SCV afin de maintenir les stocks de carbone organique des sols des Cerrados, surtout chez les gros producteurs intensifs de grains. Une estimation grossière issue de ces travaux montre que des 6 millions d'ha en culture avec des SCV des Cerrados on peut espérer un stockage de 4.9 Tg C an^{-1} durant les 12 première années suivant le passage en SCV. Ceci représenterait un équivalent de $18.3 \text{ Tg CO}_2 \text{ an}^{-1}$, ce qui en fait un puits important sachant que par ailleurs les flux nets de CO_2 issus des sols au Brésil en fonction de leur utilisation, leur changement d'utilisation, et de l'activité forestière ont été estimés à $46.4 \text{ Tg CO}_2 \text{ an}^{-1}$ durant la période 1975-95.

5. Références

- Comins HN and McMurtrie RE (1993). Long-term response of nutrient-limited forests to CO_2 enrichment: equilibrium behavior of plant-soil models. *Ecological Applications* 3, 666-681.
- Parton WJ, Scurlock JMO, Ojima DS, Gilmanov TG, Scholes RJ, Schimel DS, Kirchner T, Menaut J-C, Seastedt T, Garcia Moya E, Kamnalrut A and Kinyamario JI (1993). Observations and modeling of biomass and soil organic matter dynamics for the grassland biome worldwide. *Global Biogeochemical Cycles* 7, 785-809.

Séquestration du carbone pour deux systèmes de culture, traditionnel et semis direct sous couvert végétal, au Laos.

Sylvain HUON¹, Hendrina DE ROUW², Olivier RIBOLZI², Thierry Henry DES TUREAUX², Daniel BILLIOU¹, Emmanuel BOURDON², Bounsamai SOULILEUTH³, Oloth SENGTAHEUANGHOUNG³, Claire CHENU¹ et Christian VALENTIN²

¹ UMR 7618 Bioemco. UPMC. Case 120, 4 place Jussieu. 75252 Paris cedex 05 (France) (huon@ccr.jussieu.fr).

² UR 176 Solutions IRD (France et Laos)

³ NAFRI BP06. Vientiane (Laos).

1. Introduction

Certaines pratiques agricoles comme le semis direct sous couvert végétal (SCV, Capillon et Seguy, 2002) permettent d'augmenter le stockage de carbone dans les sols par rapport aux techniques traditionnelles de labour. Elles offrent ainsi des perspectives temporaires pour limiter le flux de CO₂ vers l'atmosphère produit par la minéralisation des matières organiques. On évalue l'augmentation des entrées de carbone dans le sol par cette technique à $0,20 \pm 0,13 \text{ tC} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ (INRA, 2002). L'efficacité du SCV sur le stockage de carbone en milieu tropical reste encore mal connue car température élevée, fortes précipitations et activité biologique soutenue favorisent la minéralisation. Dans le cadre du projet FFEM au Laos, des expérimentations en semis direct sous couvert végétal, en alternative à des modes traditionnels de culture (défriche-brûlis, labour), ont été mises en œuvre entre 2002 et 2007 sur : 1) le site de Ban Napok (cultures de la plaine du Mékong) et 2) le bassin versant de Houay Pano (cultures sur fortes pentes). L'objectif de cette présentation est d'exposer les principaux résultats en se focalisant sur les expérimentations en plaine pour lesquelles nous disposons de l'intégralité des résultats au moment de la rédaction de ce résumé.

2. Matériel et methods

Pour le premier site comporte 4 répétitions de 15 x 25 m avec des parcelles témoins, cultivées en maïs (plante en C₄, $\delta^{13}\text{C}_{\text{feuille}} = -11,7 \text{ ‰}$) avec labour annuel et des parcelles cultivées en maïs par semis direct sous mulch et sans labour avec couverture de *Brachiana ruziziensis* (plante en C₄, $\delta^{13}\text{C}_{\text{feuille}} = -13,2 \text{ ‰}$). Pour le second site, l'expérimentation a porté sur deux sous-bassins versants de 0.6-0.7 ha à fortes pentes, l'un étant maintenu en culture par défriche-brûlis traditionnel avec jachère de 2 ans, l'autre étant cultivé en "Larmes de Job" (plante en C₄, $\delta^{13}\text{C}_{\text{feuille}} = -13,6 \text{ ‰}$) en semis direct sous couverture de *Brachiana ruziziensis*, alors que la culture dominante était le riz pluvial (plante en C₃, $\delta^{13}\text{C}_{\text{feuille}} = -31,1 \text{ ‰}$).

Les stocks de carbone et la composition isotopique $\delta^{13}\text{C}$ des matières organiques des sols, avant et après expérimentation, ont été mesurés sur 3 fractions granulométriques (<50, 50-200 et 200-2000 μm) provenant des 40 premiers cm des sols. Tous les sols ont été analysés pour l'état initial de 2002. Les résultats obtenus ont montré qu'un échantillonnage aléatoire plus réduit pouvait être effectué pour l'état final (2006 pour Ban Napok et 2007 pour Houay Pano). Le tirage aléatoire de 10 sols par traitement est fondé sur la stabilité du coefficient de variation σ / m (écart-type / moyenne) en fonction des stocks moyens de carbone organique.

3. Résultats

Les 54 sites prélevés du site de Ban Napok reflètent un sol acide à faible CEC, à forte teneur en sables fins et de densité apparente élevée ($1,25 \pm 0,08$ à $1,53 \pm 0,06 \text{ g.cm}^{-3}$). Les stocks moyens de carbone organique augmentent de $1,3 \pm 0,2 \text{ kgC.m}^{-2}$ en surface (0-10 cm) à $4,6 \pm 0,2 \text{ kgC.m}^{-2}$ plus en profondeur (30-40 cm). Les matières organiques des fractions granulométriques fines (<50 μm) sont enrichies en ^{13}C en moyenne de ca. 2 ‰ par rapport aux fractions les plus grossières (200-2000 μm). La composition isotopique des fractions 50-200 μm est intermédiaire. On retrouve un enrichissement moyen du même ordre de grandeur entre les horizons de surface (0-10 cm) et les horizons plus profonds (30-40 cm) des sols. Cet enrichissement systématique pourrait correspondre à l'incorporation en surface et dans les faibles granulométries de matières organiques plus anciennes provenant probablement de graminées naturelles en C_4 ou directement de cultures d'Eleusine (plante en C_4 , $\delta^{13}\text{C}_{\text{feuille}} = -13,5 \text{ ‰}$) mises en place en 2001 avant expérimentation. Après 4 années de culture, on n'observe pas de différence significative entre les quantités totales de biomasse (litières + végétaux sur pied) pour les parcelles labourées ($21,7 \text{ t.m}^{-2}$) et pour les parcelles cultivées en semi-direct ($21,5 \text{ t.m}^{-2}$). La densité apparente des sols a augmenté, passant à $1,52 \pm 0,05 \text{ g.cm}^{-3}$ pour 0-10 cm et $1,64 \pm 0,04 \text{ g.cm}^{-3}$ pour 30-40 cm. Cette évolution correspond vraisemblablement à une re-structuration des sols pendant la mise en culture. Les stocks moyens de carbone organique et d'azote total des sols mesurés après expérimentation sont supérieurs à ceux de l'état initial, que ce soit pour le labour ou pour le S C V (Tableau I).

Tableau I - Stockage moyen de carbone organique et d'azote total mesurés pour les deux traitements entre 2002 et 2006 et différence entre les deux traitements (expérimentation du site de Ban Napok)

Profondeur (cm)	Stock C Labour (gC m ⁻²)	Stock N Labour (gN m ⁻²)	Stock C SCV (gC m ⁻²)	Stock N SCV (gN m ⁻²)	ΔC (gC m ⁻²) Labour / SCV	ΔN (gN m ⁻²) Labour / SCV
0-5	91 ± 223 **	4 ± 17	285 ± 149	29 ± 14 *	-195 ± 91 ***	-25 ± 7 ***
5-10	102 ± 123 **	6 ± 10	-42 ± 213	-1 ± 24	145 ± 80	8 ± 8
10-20	237 ± 360 **	72 ± 50 **	52 ± 285	55 ± 41	184 ± 155	17 ± 22
20-30	320 ± 323 **	20 ± 19 **	25 ± 134	10 ± 21	295 ± 122 ***	10 ± 9
30-40	223 ± 380 **	223 ± 280 **	116 ± 107	116 ± 107	106 ± 105	-3 ± 4
0-40	972 ± 746	112 ± 38	437 ± 651	106 ± 65	536 ± 333	7 ± 24

Stock C ou N = différence entre stocks moyens de carbone ou d'azote entre 2006 et 2002

Différences significatives à : * $p < 0,001$, ** $0,001 < p < 0,01$, *** $0,01 < p < 0,05$

Compte tenu d'écarts types élevés, les différences entre stocks moyens de carbone organique et d'azote total ne sont réellement significatives que pour l'horizon de surface (0-5 cm) de l'expérimentation en SDCV. L'accroissement net du stock moyen de carbone par rapport à celui du labour y est de $1,95 \pm 0,9$ tC.ha⁻¹ après 4 années de culture (environ 0,5 tC.ha⁻¹.an⁻¹). Les matières organiques des fractions granulométriques fines (<50 et 50-200 µm) des sols en 2006 sont enrichies en ¹³C, indiquant l'incorporation de carbone provenant des cultures de maïs et des plantes de couverture en C₄. Cet enrichissement est nettement plus marqué pour le SCV que pour le labour mais décroît rapidement avec la profondeur (en moyenne de 1,7 - 2,9 ‰ en surface à seulement 0,4 - 0,6 ‰ pour 10-20 cm). Si la fraction de "carbone nouveau" est plus importante pour le SCV que pour le labour, cette incorporation n'est pas rigoureusement reflétée dans l'augmentation des stocks de carbone en profondeur.

4. Conclusions

Le résultat des expérimentations menées pendant 4 années sur le site de Ban Napok montre un accroissement net du stock de carbone organique du SCV d'environ 0,5 tC.ha⁻¹.an⁻¹ par rapport au labour mais qui n'affecte de manière significative que l'horizon le plus superficiel des sols (0-5 cm). L'incorporation de carbone nouveau se fait dans les fractions granulométriques de faible taille, <50 µm et surtout 50-200 µm, ce qui est à mettre en relation avec les caractéristiques particulières de ces sols.

5. Références

- Capillon A. & Seguy L. (2002). Ecosystèmes cultivés et stockage de carbone. Cas des systèmes de culture en semis direct avec couverture végétale. C.R. Acad. Agric. Fr. 88, 5 : 63-70.
- INRA (2002). Stocker du carbone dans les sols agricoles en France. Rapport d'expertise collective. 32 p.

SCV à Madagascar : Impacts sur les communautés microbiennes impliquées dans l'émission de N₂O

Lydie CHAPUIS-LARDY¹, Ezekiel BAUDOIN², Laurent PHILIPPOT³,
Dominique CHENEY³, Nathalie FROMIN⁴, Robert LENS⁴, Aurélie
METAY⁵, Bodovololona RABARY⁶, Tantely RAZAFIMBELO⁷, Alain
BRAUMAN⁸

¹ IRD UR179 SeqBio, LRI – Université d'Antananarivo- BP 434, 101 Antananarivo, Madagascar lydie.lardy@ird.fr

² IRD UR179 SeqBio, LEMSAT - BP 1386, Dakar, Sénégal

³ INRA, CMSE, 21065 Dijon, France

⁴ CNRS UMR5175, CEF, 1919 route de Mende, 34293 Montpellier, France

⁵ ISTOM, 32 boulevard du Port, 95094 Cergy-Pontoise, Cedex 5, France

⁶ FOFIFA URP SCRiD c/o FOFIFA B.P. 1690, Antananarivo, Madagascar

⁷ LRI-SRA Université d'Antananarivo, BP 3383, 101 Antananarivo, Madagascar

⁸ IRD UR179 SeqBio, 2 place Viala, bâtiment 12, 34060 Montpellier cedex 1, France

1. Introduction

Le semis direct sous couverture végétale (SCV) pratiqué à Madagascar a fait ses preuves d'un point de vue agronomique (Michellon *et al.*, 2003). Cette pratique permet également de stocker du carbone dans le sol (Razafimbelo *et al.*, 2006) et de limiter l'émission de CO₂ vers l'atmosphère. Cependant, l'impact environnemental du SCV concerne également les émissions d'un autre gaz à effet de serre, l'oxyde nitreux (N₂O) dont le potentiel de réchauffement global sur un siècle est 296 fois plus élevé que celui du CO₂. Le N₂O émis par les sols provient de différents processus microbiens dont l'un des principaux est la dénitrification. Ce processus complexe mettant en jeu différentes communautés microbiennes comprend quatre étapes qui conduisent à une réduction des nitrates (NO₃⁻) en diazote (N₂) via les enzymes nitrate-réductase (NAR), nitrite-réductase (NIR), oxyde nitrique-réductase (NOR) et oxyde nitreux-réductase (NOS).

Notre étude a été menée au travers du projet MUTEN Modes d'utilisation des terres et flux de N₂O : Caractérisation des déterminants du fonctionnement des communautés dénitrifiantes (programme PN/ACI ECCO 2005-2007) et vise à documenter l'impact des SCV sur les communautés bactériennes fonctionnelles impliquées dans la production de N₂O dans le cas d'un sol ferrallitique argileux des Hautes Terres malgaches.

2. Matériels et Méthodes

Le dispositif randomisé, géré par l'ONG Tafa (Bemasoandro, près d'Antsirabe) comprend des parcelles cultivées selon une rotation annuelle soja / riz pluvial soit sous SCV (mulch) soit sous labour conventionnel (sans restitution des résidus de récolte ; noté Lb). L'effet du mode de gestion est testé sous trois modalités de fertilisation : F0 : sans apport ; F1 : 5 t fumier/ha ; F2 : 5 t fumier + 70/30/40 kg NPK /ha. L'horizon supérieur (0-5 cm) du sol a été prélevé fin janvier 2005 (soja) et début février 2006 (riz).

La qualité de la matière organique a été appréciée par SPIR (spectroscopie proche Infra Rouge). Les communautés bactériennes (totales et dénitrifiantes) ont été étudiées en termes d'abondance (qPCR), de structure génétique (RFLP & DGGE) et d'activités (nitrate réductase et dénitrification potentielle). Par ailleurs, cette étude à l'échelle du microorganisme est aussi complétée par des mesures des dégagements *in-situ* de N_2O , réalisées dans les parcelles fertilisées F2 durant la saison culturale du soja (accumulation sous enceintes statiques) et présentée plus en détails par Rabenarivo *et al* (poster).

3. Résultats et discussion

Si le pool organique du sol (mesure SPIR) semble plus affecté par la rotation culturale (soja-riz) que par le mode cultural (labour/SCV), en revanche, le compartiment bactérien est modifié significativement par le mode cultural.

3.1. Densité des communautés

Elle n'est pas significativement affectée par la rotation culturale (2005, soja vs. 2006, riz) mais les gènes clés de la dénitrification sont plus abondants sous SCV que sous labour, sauf dans le cas du traitement avec fertilisation organo-minérale (F2) (Fig. 1). Par ailleurs, la réponse des dénitrifiants ne diffère pas de celle de la communauté bactérienne totale.

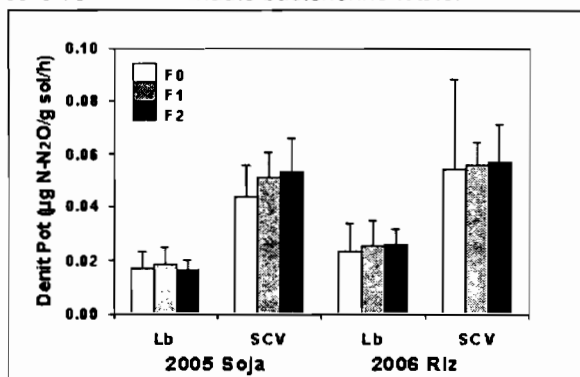


Fig. 2. Potentiel de dénitrification

3.2. Activité des communautés

L'activité de la communauté nitrate réductrice (*narG*) est plus élevée sous semis direct, quel que soit le mode de fertilisation. Le potentiel de dénitrification, affecté ni par le niveau de fertilisation ni par la plante cultivée (riz/pluvial vs. soja), est cependant plus élevé sous SCV que sous labour (Fig. 2).

3.3. Structure des communautés

Le mode de culture (Lb vs. SCV) modifie la structure génétique (diversité) de la communauté bactérienne totale ; cependant l'intensité de cette perturbation est fonction du niveau de fertilisation et la culture considérée (riz/soja). En général, la diversité de la communauté bactérienne totale apparaît plus variable sous semis direct.

3.4. Flux N₂O in-situ

Les émissions de N₂O sont du même ordre de grandeur sous SCV que sous labour, < 1 mg N-N₂O/jour/ha, et peuvent être considérées comme faibles au regard de la littérature.

4. Conclusions

La densité et l'activité des gènes impliqués dans le processus de dénitrification (*narG/nirK/nirS/nosZ*) sont plutôt favorisées par le SCV, notamment en absence de fertilisation organo-minéral (F2). Dans ces situations F2, les paramètres descriptifs des communautés dénitrifiantes (densité/activité) tout comme le dégagement réel de N₂O restent peu affectés par le mode cultural.

5. Références

- Michellon *et al.*, 2003 Cropping systems on permanent soil cover for Madagascar highlands. IInd Word Congress on Conservation Agriculture, Iguaçu, Brazil.
- Razafimbelo *et al.*, 2006. Effet de différents systèmes de culture à couverture végétale (SCV) sur le stockage du carbone (C) dans un sol ferrallitique argileux des Hautes Terres de Madagascar. Etude et Gestion des Sols 13, 113-117.

Modéliser les flux de N₂O à partir de sols sous différents systèmes de culture: comment éviter les limites des mesures discrètes

Aurélie METAY^{1,2,*}, Antoine FINDELING³, Robert OLIVER⁴, Lydie CHAPUIS-LARDY², Marianne MARTINET¹, Christian FELLER², José Aloisio ALVES MOREIRA⁵

¹ ISTOM, 32, bd du Port, 95094 Cergy-Pontoise cedex, France. a.metay@istom.net

² SeqBio, Carbon Sequestration and Soil Biota Group, Institut de Recherche pour le Développement (IRD), BP 434, 101 Antananarivo, Madagascar

³ CREED (Centre de Recherches sur l'Environnement l'Energie et les Déchets du groupe Véolia Environnement), 78520 Limay, France

⁴ CIRAD, UPR 78, avenue Agropolis 34394 Montpellier cedex 5, France

⁵ EMBRAPA-CNPAP Rodovia Goiânia a Nova Veneza, km 12, Fazenda Capivara, C.P. 179 75375-000 Santo Antônio de Goiás, GO, Brazil.

* auteur correspondant (adresse e-mail):

1. Introduction

L'estimation des flux de N₂O est un enjeu essentiel pour évaluer l'effet des pratiques culturales sur la production de gaz à effet de serre (GES). La quantification *in situ* des flux de N₂O, résultant de 2 principaux processus biologiques, nitrification et dénitrification, est délicate en raison d'une variabilité spatiale et temporelle élevée liée à la variabilité des facteurs édaphiques les conditionnant (température, teneur en eau, etc...) et de concentrations naturelles classiquement basses. En conditions appropriées, les chambres statiques peuvent fournir une information fiable sur l'estimation des flux de gaz à partir du sol. Cependant la plupart des chambres sont de taille réduite (quelques L) et sont utilisées sur des courtes périodes de temps (quelques heures en général), leurs estimations doivent donc être intégrées spatialement et temporellement et ces extrapolations à l'échelle de l'année doivent donc être considérées avec précaution. Ce travail méthodologique tente de contourner le problème des mesures discrètes *in situ* et propose une approche des flux de N₂O par la modélisation. Cette approche a consisté en la combinaison de 2 modèles : un modèle mécaniste de transfert de l'eau et un modèle de simulation des flux de N₂O par nitrification et dénitrification. Deux situations agricoles tropicales de champ ont été étudiées : (i) semis direct sur couverture végétale (SCV) et travail superficiel du sol en contexte de production de riz pluvial dans les Cerrados (Brésil central) ; (ii), SCV et labour sur les Hautes Terres malgaches.

2. Première approche : les potentiels de dénitrification

Les potentiels (tableau 1) pour les sols des Cerrados et des Hautes Terres malgaches (Martinet et al., 2007) sont dans la fourchette basse des valeurs mentionnées dans la littérature (0.5 to 8,45 mg N-N₂O kg sol⁻¹ j⁻¹, selon Hénault et al., 2005). Seuls les sols brésiliens mettent en évidence un potentiel de dénitrification significativement plus élevé sous SCV.

Tableau 1: Potentiels de dénitrifications de sols brésiliens et malgaches déterminés par incubation. Moyenne (écart-type)

Situation	Traitement	Potentiel de dénitrification (mg N-N ₂ O kg sol ⁻¹ j ⁻¹)
Cerrados (Brésil)	SCV	0,78 (0,002)
	Travail du sol	0,72 (0,152)
Hautes terres (Madagascar)	SCV	0,34-0,41 (0,23-0,39)
	Travail du sol	0,42-0,47 (0,28-0,33)

Globalement, ces sols semblent faiblement émetteurs de N₂O même en conditions optimales.

3. Deuxième approche : la modélisation des flux de N₂O par nitrification et dénitrification

Le recours à la modélisation permet de répondre à 2 questions : (i) les mesures sur le terrain étant ponctuelles et les déterminants des flux très variables, n'a-t-on pas « raté » des périodes de flux importants ? (ii) Est-il possible de s'affranchir d'un suivi de terrain laborieux et souvent dépendant de la maîtrise de l'erreur expérimentale pour estimer un bilan GES ? Premièrement, la simulation en continu des conditions hydriques dans les sols étudiés par le modèle PASTIS (version Findeling *et al.*, 2001) permet d'avoir une idée plus précise en quantité et en intensité (sur un pas de temps horaire) des flux pendant l'ensemble du cycle cultural. Ainsi, de cette première analyse, nous avons déduit que ces sols sont rarement placés en conditions de dénitrification (environ 20% du temps) et que les conditions « dénitrifiantes » ne correspondent pas toujours aux conditions de mesures des flux de gaz au champ, autrement dit le bilan de N₂O réalisé sur la base des mesures au champ n'a pas pris en compte la totalité de la dénitrification, donc des flux de N₂O. La calibration du modèle NOE (Hénault *et al.*, 2005) avec les paramètres résultant des expérimentations en laboratoire a permis de simuler les flux de N₂O par nitrification et par dénitrification sur l'ensemble de la gamme des conditions hydriques du sol (Hénault et Germon, 1995). Dans le cas des sols cultivés des *Cerrados*, les résultats de la simulation (figure 1) des flux de N₂O par le modèle NOE ont permis de montrer que :

- les flux par dénitrification représentent des événements ponctuels, mais d'une amplitude très importante (15 fois l'ordre de grandeur l'émission par nitrification),
- la contribution de la nitrification aux flux de N₂O n'est pas négligeable
- les mesures au champ estiment essentiellement les flux de N₂O par nitrification, et nous avons probablement « raté » quelques flux importants par dénitrification.

Les recommandations données dans la littérature sur les périodes de mesures au champ (prélèvements effectués durant la matinée (considérée comme représentative de l'ensemble de la journée en climat tempéré (Rochette *et al.* 2000, Séhy *et al.*, 2003)), doivent être évidemment modulées par les conditions climatiques locales, pluviométriques en particulier.

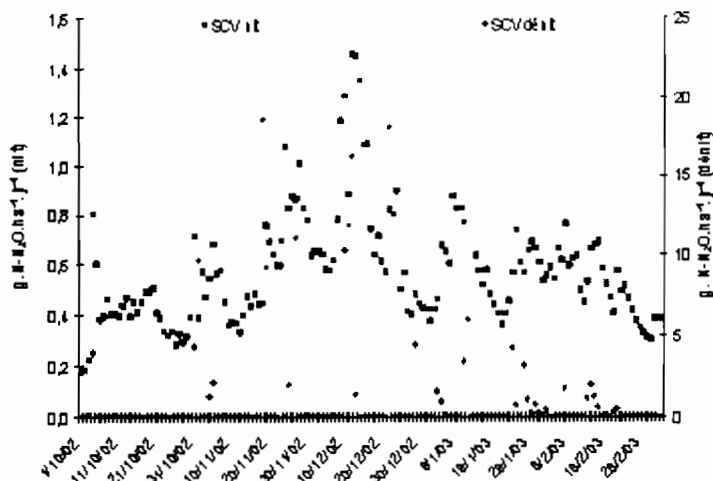


Figure 1: Simulations des flux de N_2O par nitrification et dénitrification pour SCV, dans le cas de sols brésiliens

Dans le cas des sols malgaches, des mesures ponctuelles ont montré des conditions hydriques proches de la saturation pendant la saison des pluies : une simulation en continu des flux de N_2O après reconstitution du signal hydrique permettrait d'affiner l'estimation du bilan annuelle de flux de N_2O (travail en cours). Finalement la démarche originale consistant à simuler en continu le statut hydrique du sol et à l'utiliser dans le modèle NOE a permis d'affiner l'approche de terrain et a apporté un complément d'information indispensable à la réalisation d'un nouveau bilan GES. En conclusion, que l'approche soit basée uniquement sur des mesures au champ ou mette en œuvre la modélisation (pour les flux de N_2O), le système SCV étudié est donc bien un système séquestrant, dans le cas des sols brésiliens, le travail de modélisation doit être poursuivi sur les sols malgaches.

4. Références

- Findeling A. 2001. Etude et modélisation de certains effets du semis direct avec paillis de résidus sur les bilans hydrique, thermique et azoté d'une culture de maïs pluvial au Mexique. Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et Forêts de Montpellier, 422 p.
- Hénault, C., Germon, J.C. 1995. Quantification de la dénitrification et des émissions de protoxyde d'azote (N_2O) par les sols. Agronomie, 15, 321-355.
- Hénault C., Bizouard F., Laville B., Gabrielle B., Nicoulaud B., Germon J.C., Cellier P., 2005. Global Change Biology, 11, 115-127

- Martinet M., Chapuis-Lardy L., Metay A., Douzet J.M., Rabenarivo M., Razafimbelo T., Toucet-Louri J., Rakotoarisoa J., Rabeharisoa L., 2007. Effect of agricultural practices on N₂O emissions from Malagasy soils. In International Symposium on Organic Matter Dynamics in Agro-Ecosystems., July 16-19, INRA-ESIP, Poitiers, France. Poster
- Rochette, P., Angers, D.A., Côté, D. 2000. Soil carbon and nitrogen dynamics following application of pig slurry for the 19th consecutive year: I. Carbon dioxide fluxes and Microbial biomass carbon. Soil Science Society of America Journal, 64:1389-1395
- Séhy, U., Ruser, R., Munch, J.C. 2003. Nitrous oxide fluxes from maize fields: relationship to yield, site-specific fertilization, and soil conditions, Agriculture, Ecosystems and Environment, 99, 97-111.

Stockage de carbone dans le sol sous systèmes en semis direct sous couvert végétal suivant différents contextes pédoclimatiques. Cas du Sud-Est, du Centre-Nord et du Sud-Ouest de Madagascar.

Tantely RAZAFIMBELO¹, Alain ALBRECHT², Haja RAVELOJAONA¹,
Narcisse MOUSSA³, Celestin RAZANAMPARANY³, Christian
RAKOTOARINIVO³, Hubert RAZAFINTSALAMA³, Roger MICHELLON^{3,4},
Krishna NAUDIN^{3,4}, Lilia RABEHARISOA¹, Christian FELLER²

¹ Laboratoire des Radioisotopes (LRI) - Service de la RadioAgriculture, Route d'Andraisoro, BP 3383, 101 Antananarivo, Madagascar. tantely.razafimbelo@ird.fr

² Institut de Recherche pour le Développement (IRD), Route d'Ambohipo, BP 434, 101 Antananarivo, Madagascar

³ ONG Tany sy Fampandrosoana (TAFA), BP 266, 110 Antsirabe, Madagascar

⁴ Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), Ampandrianomby, BP 853, 101 Antananarivo - Madagascar

1. Introduction

Augmenter le stock de carbone (C) organique du sol permet d'améliorer ses propriétés physico-chimiques, et donc d'améliorer la productivité végétale. Par ailleurs, stocker du C d'origine atmosphérique dans le sol, répond aussi à une problématique environnementale : la lutte contre l'effet de serre. Parmi les alternatives de gestion permettant de stocker du C d'origine atmosphérique dans le système sol-plante, les systèmes en semis direct avec couverture végétale ou SCV, paraissent intéressants tant pour les milieux tempérés (Balesdent et al., 1998) que tropicaux (Six et al., 2002). Le niveau de stockage du C dans le sol peut être déterminé par plusieurs facteurs comme le type du sol (texture et de la minéralogie), les quantités et qualités des résidus restitués au sol, la structure du sol, et finalement la faune du sol. Le potentiel de stockage du carbone dans le sol sous systèmes SCV, en contextes pédoclimatiques contrastés sont étudiés ici, par comparaison avec des systèmes de références paysannes ou des jachères.

2. Matériels et méthodes

L'étude est effectuée dans 3 régions de Madagascar à contextes pédoclimatiques très différents :

- le Sud-Est, à proximité de la ville de Manakara, en climat tropical humide où trois types de sol sont étudiés : sol hydromorphe (Ankepaka), sol ferrallitique sur basalte (Andasy) et sol ferrallitique typique (Faraony),
- Le Centre-Nord, dans la région d'Alaotra Mangoro, en climat tropical de moyenne altitude où trois types de sol sont étudiés : sol ferrallitique sur gneiss (Marololo), sol alluvionnaire (Marololo) et sol ferrallitique hydromorphe (Marololo),

- Le Sud-Ouest, à proximité de la ville de Tuléar, en climat semi-aride où deux types de sol sont étudiés : sol fersiallitique (Andranovory) et sol ferrugineux (Sakaraha).

Les sols étudiés, regroupent une large gamme de texture, avec des teneurs en argile + limons fins (A+LF) variant de 15 à 80% du sol total.

Les dispositifs étudiés sont ceux de l'ONG TAFE et comportent des systèmes en semis direct sous couverture végétale (SD) qui sont comparés avec des systèmes de référence disponibles pouvant être ; soit des systèmes non mis en culture (jachères et rizières abandonnées), soit des systèmes traditionnels locaux (défriches, labour, parcelle paysanne).

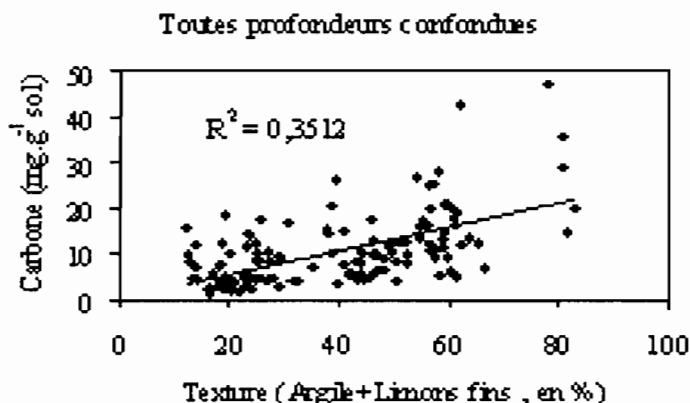
Les échantillons ont été prélevés juste après récolte en juillet 2006 à 5 profondeurs (0-5, 5-10, 10-20, 20-30 et 30-40 cm). Les teneurs en carbone des échantillons sont mesurés par oxydation de la matière organique du sol avec du bichromate de potassium (Nelson and Sommers, 1986) et la texture du sol par destruction de la matière organique et séparation des fractions par tamisages successifs et sédimentation.

3. Résultats et discussion

3.1. Teneurs en C

Tous dispositifs et profondeurs confondus, les teneurs en C varient de 1 à 47 mgC .g⁻¹ sol. D'une manière générale, les teneurs en C sont assez faibles et de même ordre de grandeur pour les sols ferrallitiques, alluvionnaires, fersiallitiques et ferrugineux, et sont plus élevées pour les sols hydromorphes, ferrallitiques sur basalte, ferrallitiques typiques et ferrallitiques hydromorphes.

On observe une corrélation fortement positive entre la texture et les teneurs en C du sol pour les couches 0-5 à 30-40 cm, ce qui confirme l'importance de la texture comme déterminant du stockage du carbone dans le sol, souvent relatée dans la littérature (Figure 1).



(a)

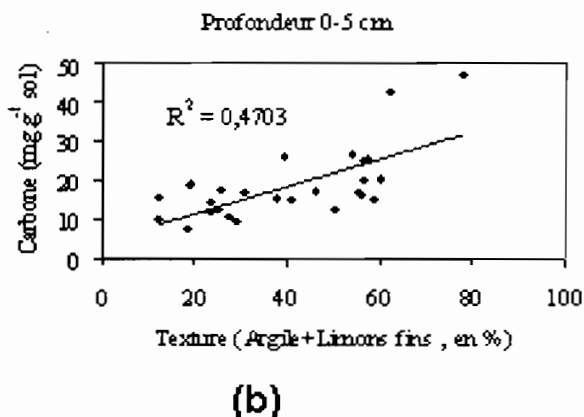


Figure 1 : Relation entre teneurs en carbone et texture (Argile+limons fins) des traitements, pour toutes profondeurs confondues (0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40 cm) et pour la profondeur 0-5 cm uniquement (b).

3.2. Stocks de C

Du fait des différences de densités apparentes entre les traitements de chaque dispositif, les stocks de carbone sont calculés à masse équivalente de l'horizon 0-20 cm (Eq 0-20). Pour le Sud-Est, des stockages significatifs de C sous SCV sont seulement observés sur le sol ferrallitique sur basalte. Par rapport à la défriche, les stockages annuels de C sont respectivement de 700 et 2150 kg C.ha⁻¹.an⁻¹ pour le système SD Riz-stylosanthes, non fertilisé (F0) et en fertilisation minérale (Fm), respectivement. Ces stockages sont très élevés et peuvent être attribués à la très grande différence de densité apparente entre les systèmes, due à leur répartition inégale par rapport à la pente du versant.

Pour le Centre-Nord, des stockages significatifs de C sous SCV sont observés pour le sol alluvionnaire. Par rapport au même système conduit en labour, le système SD Riz-légumineuse/maïs-légumineuse avec fumier (Fu) permet de stocker du C de 788 kg C.ha⁻¹.an⁻¹ pour l'horizon Eq0-20. Pour le Sud-Ouest, les stockages significatifs de C sous SCV sont observés pour le sol fersiallitique. Par rapport au labour en culture continue de maïs (LB maïs/maïs), le système SD Maïs-Vigna non fertilisé (F0) permet de stocker, pour la couche équivalente à 0-20 cm, 417 kg C.ha⁻¹.an⁻¹ ; et par rapport au labour en culture continue d'arachide (LB arachide/arachide) 558 et 1058 kg C.ha⁻¹.an⁻¹. Les valeurs de stockage pour la région Centre-Nord et Sud-Ouest sont élevées, et semblent être en accord avec ce qui est donnée dans la littérature pour des systèmes SCV en milieu tropical (Bernoux et al., 2006). Toutefois, ces stockages sont attribués à l'effet du « système SCV » dans son ensemble (et non uniquement du non-labour, comme ce qui est cité dans la littérature), incluant le système de rotation utilisé, le mode de restitution et la quantité des résidus restitués sachant que ces résidus sont généralement exportés pour les systèmes de références étudiées.

4. Conclusion

Même si tous les systèmes SCV ne permettent pas d'augmenter les stocks de C du sol, certains s'avèrent performant par rapport aux systèmes de références disponibles comme le labour et la défriche. Le stockage ne semble pas dépendre du type de sol en particulier, mais du mode de conduite de la culture (niveau de fertilisation) et de la rotation culturale utilisée.

5. Bibliographie

- Balesdent, J. et al., 1998. The dynamics of carbon in particle-size fractions of soil in a forest-cultivation sequence. *Plant Soil* 201, 49-57.
- Bernoux, M. et al., 2006. Cropping systems, carbon sequestration and erosion in Brazil, a review. *Agron. Sustain. Dev.* 26, 1-8.
- Six, J. et al., 2002. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils - Effects of no-tillage. *Agronomie* 22, 755-775.

SYMPOSIUM 2 : DIVERSITE ET ABONDANCE DES ORGANISMES DU SOL

Fonctionnement du sol sous SCV au Brésil et à Madagascar : Abondance et rôle des ingénieurs du sol sur la dynamique du carbone du sol

Eric BLANCHART, Bernard BARTHES, Martial BERNOUX, Lydie CHAPUIS-LARDY, Jean-Luc CHOTTE, Sylvain COQ, Jean-Marie DOUZET, Virginie FALINIRINA, Christian FELLER, Bodovololona RABARY, Richard RANDRIAMANANTSOA, Alain RATNADASS, Tantely RAZAFIMBELO, Eric SCOPEL, Cécile VILLENAVE, Lynn WEBER

1. Introduction

Les systèmes en semis direct sous couverture végétale (SCV) dans les tropiques sont souvent décrits comme diminuant l'érosion, augmentant le stockage du carbone, diminuant les émissions de gaz à effet de serre et augmentant la production de biomasse. De même, les organismes du sol, microorganismes et faune, semblent être fortement modifiés dans les systèmes SCV si on les compare à des systèmes traditionnels labourés. Dans le cadre du programme FFEM, diverses études ont été menées dans les systèmes SCV au Brésil et à Madagascar pour (i) évaluer l'effet de ces systèmes sur les diversités, densités et biomasses de macrofaune du sol et (ii) mieux cerner le rôle de ces organismes dans le fonctionnement du sol et particulièrement dans le stockage du carbone.

2. Matériels et méthodes

Les échantillonnages de macrofaune du sol (méthode TSBF modifiée) ont été réalisés au Brésil le long de chronoséquence (systèmes SCV d'âges différents et systèmes labourés) et à Madagascar dans des situations expérimentales présentant différents types de systèmes SCV et labourés. Des expérimentations au champ ou au laboratoire (Madagascar) ont permis de préciser le rôle des principaux groupes de macrofaune rencontrés dans les systèmes SCV (vers de terre et larves de Coléoptères Scarabeidae) sur la séquestration du carbone (incorporation de matière organique, protection de la matière organique contre la minéralisation et émission de gaz à effet de serre).

3. Résultats

3.1. Diversité et abondance de la macrofaune dans les sols sous SCV

Au Brésil, la macrofaune du sol est principalement dominée, en densité, par les termites (36% des individus collectés) et les fourmis (32%). Comparée à la végétation naturelle (cerrado CER), la macrofaune dans les systèmes cultivés est fortement modifiée (Fig. 1). Dans les systèmes traditionnels (Lab), les densités et biomasses sont très faibles et inférieures aux valeurs mesurées sous SCV. L'augmentation de l'âge du SCV entraîne d'abord une augmentation puis une chute des densités de macrofaune alors que la biomasse continue d'augmenter en raison notamment du développement des larves de Coléoptères

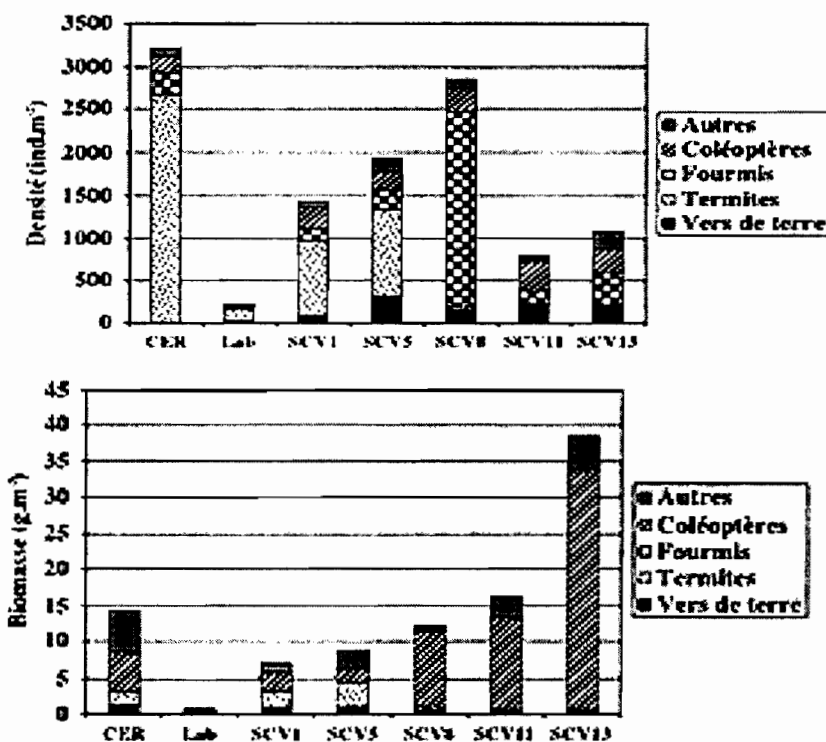


Figure 1 : Densité et biomasse de la macrofaune du sol dans les systèmes naturels (CER), labourés (Lab) et en SCV d'âges différents (SCV) au Brésil (Rio Verde). SCV1 = SCV d'1 an, SCV5 = SCV de 5 ans...

À Madagascar, en l'absence de termites, les peuplements sont dominés par les vers de terre et les larves de Coléoptères Scarabeidae qui sont plus abondants dans les systèmes SCV que dans les systèmes labourés.

3.2. Macrofaune du sol et séquestration du carbone

Des élevages de faune (vers de terre et larves de Coléoptères) ont permis de mieux comprendre le rôle de ces invertébrés dans la séquestration du carbone. Certaines larves de Coléoptères ont un comportement trophique identique à celui des vers de terre endogés. Toutefois, à la différence des vers de terre, ces larves consomment un sol très enrichi en particules organiques grossières lorsque celles-ci sont disponibles dans le milieu (Figure 2).

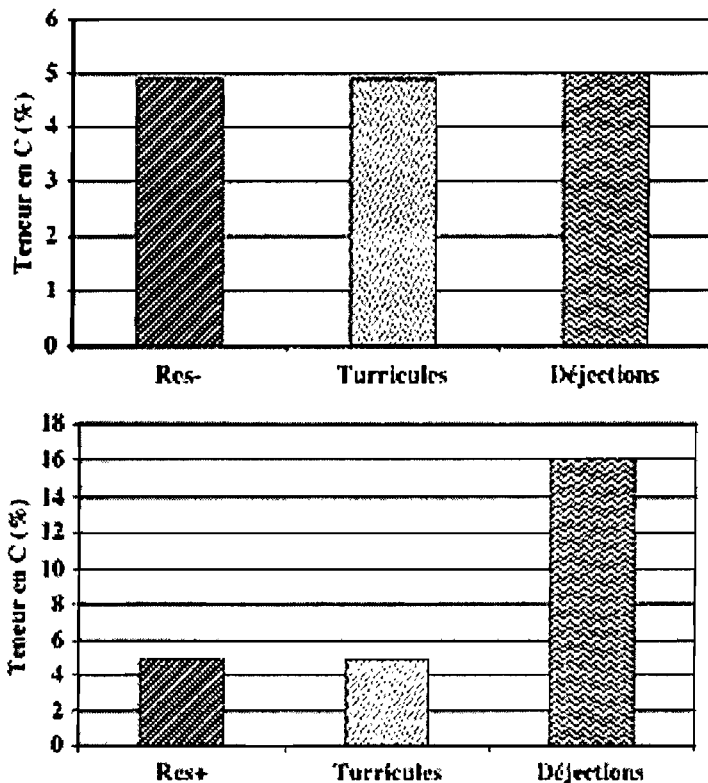


Figure 2 : Concentration en C dans les sols d'élevage en absence (Res-) ou en présence (Res+) de résidus organiques, dans les turricules de vers de terre et dans les déjections de vers blancs issus de ces sols d'élevage.

Les élevages ont également permis de montrer pour deux types de sol que les vers de terre et les larves de Coléoptères participaient de façon très négligeable aux émissions réelles de N_2O (alors que les émissions de CO_2 sont très supérieures en présence de macrofaune). En revanche, les turricules de vers de terre présentent des émissions potentielles de N_2O supérieures à celle du sol (Figure 3).

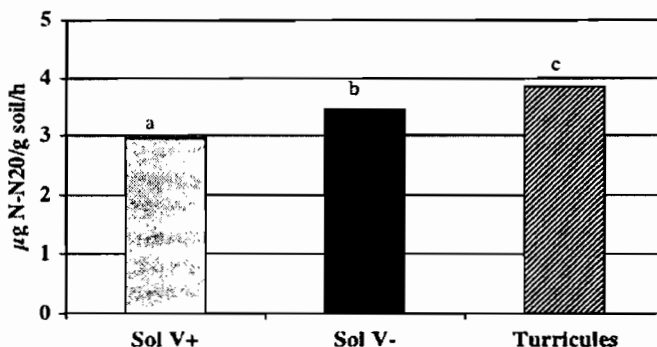


Figure 3 : Emission de N₂O par dénitrification potentielle dans un sol en présence de vers de terre (Sol V+), en l'absence de vers de terre (Sol V-) et dans les turricules.

4. Conclusion et perspectives

Les travaux menés dans le cadre du programme FFEM-Faune ont permis de mieux cerner l'activité de la faune dans les sols sous SCV. Ces systèmes de conservation améliorent nettement la diversité et l'abondance des organismes du sol (principalement les organismes détritvires comme les vers de terre et les larves de Coléoptères). Les travaux ont montré que ces organismes étaient impliqués dans le stockage du carbone mais des études plus poussées sont nécessaires pour mieux comprendre le fonctionnement du sol et le rôle de ces organismes dans la séquestration du carbone du sol et plus particulièrement dans l'émission de gaz à effet de serre autre que le CO₂.

Activités biologiques et dynamique de la matière organique du sol sous systèmes de culture en semis direct sur couverture végétale (Hauts plateaux de Madagascar)

Bodovololona RABARY¹, Eric BLANCHART², Zolalaina ANDRIAMANANTENA³, Catherine HERVOUET⁴, Jean-Marie DOUZET⁵, Roger MICHELLON⁶, Narcisse MOUSSA⁶, Jean-Luc CHOTTE².

¹FOFIFA, URP Système de Culture et Riziculture Durable, BP 230, 110 Antsirabe, Madagascar

²IRD, U.R. SeqBio, ENSAM, 2 place Viala, Bâtiment 12 – 34060 Montpellier Cedex 1

³Établissement d'Enseignement Supérieur des Sciences Agronomiques, Université d'Antananarivo

⁴CIRAD, UR 18, EMVT TA 30/A, Campus international Baillarguet, 34398 Montpellier Cedex 5

⁵CIRAD, URP Système de Culture et Riziculture Durable, BP 230, 110 Antsirabe, Madagascar

⁶ONG Tany sy Fampandrosoana (TAFa), BP 266, 110 Antsirabe, Madagascar

1. Introduction

La quasi-totalité des microorganismes ainsi que la macrofaune du sol se développent aux dépens de la matière organique. Les fonctions de décomposition de la matière organique, de minéralisation et de structuration du sol sont liées à la diversité biologique, et en particulier à la diversité spécifique ou fonctionnelle (Haynes et al., 2003). Ainsi, des pratiques agricoles intensives et dégradantes aboutissent à l'appauvrissement du sol en nombre et espèces d'invertébrés et de microorganismes. Le semis direct sur couverture végétal est considéré comme un mode de gestion du sol permettant de réduire la dégradation du sol. L'objectif de cette étude est de déterminer les effets des systèmes de semis direct sur couverture végétale (SCV) sur les activités biologiques et la dynamique de la matière organique selon la quantité et la qualité de la restitution apportée par ces systèmes.

2. Matériels et méthodes

Des dispositifs (n=3) à long terme du CIRAD/FOFIFA et de l'ONG TAFa situés à Bemasoandro (7 ans) et Andranomanelatra (11 ans), à Antsirabe, ont été utilisés. Les sols sont de type ferrallitique argileux. A Bemasoandro, les systèmes étaient : rotation riz-soja en labour traditionnel (RSL) sans restitution des résidus et riz-soja en SCV sur résidus de récolte (RSR). Trois niveaux de fertilisation étaient appliqués : F0 (sans apport), F1 (fumier) et F2 (fumier + NPK à dose recommandée selon la culture). A Andranomanelatra les systèmes étaient : 1) rotation maïs-soja en labour traditionnel (MSL) sans restitution de résidus ; 2) rotation maïs-soja en SCV sur résidus (MSR) ; 3) rotation haricot-soja en SCV sur couverture de Kikuyu, *Pennisetum clandestinum* Hochst.

(HSK) ; 4) monoculture Maïs-Maïs en SCV sur couverture de *Desmodium uncinatum* (Jacq.) (MMD) ; deux niveaux de fertilisation : F1 et F2. La jachère naturelle (JN) consiste en la partie du terrain non défrichée sous végétation d'*Aristida rufescens* (Stend). La restitution au sol est évaluée par la biomasse végétale aérienne et racinaire des systèmes. La biomasse aérienne a été prélevée dans deux carrés de 0,80 m x 0,80 m par parcelle. La biomasse racinaire a été mesurée selon la méthode de carotte jusqu'à 0,60 m de profondeur allant de 0,10 m à 0,10 m sous les plants et dans les interlignes. La composition biochimique des plantes a été analysée par la méthode de digestion chimique séquentielle de Van Soest (1963).

La densité et la biomasse de la macrofaune a été mesurée dans le sol jusqu'à 30 cm de profondeur: 0-5 cm ; 5-10 cm ; 10-20 cm et 20-30 cm selon la méthode adaptée de TSBF. Des échantillons composites de sol issus de l'horizon supérieur (0-5 cm) ont servi pour les mesures de la biomasse microbienne BM-C, la respiration basale, les activités enzymatiques β -glucosidase, phosphatase acide et uréase.

3. Résultats et discussion

Les résultats montrent qu'à Andranomanelatra, 11 ans après la mise en culture de la jachère la teneur en C et N du sol sous labour (LB) est réduite, elle est 60 % de celle sous JN. De même

Tableau 1 : Caractéristique et activités microbiennes du sol d'Andranomanelatra sous SCV comparées au labour et à la jachère naturelle

Système Culture	C mg C g ⁻¹ sol	N mg N g ⁻¹ sol	BM-C µg Cm g ⁻¹ sol	CO ₂ µgCO ₂ - Cg ⁻¹ sol	β - glucosidase µg glucoseg ⁻¹ sol h ⁻¹	Phosphatase µg PNP g ⁻¹ sol h ⁻¹	Urease µg NH ₄ ⁺ g ⁻¹ sol h ⁻¹
SCV	47.9a	4.00a					
HSK	b	b	458.2a	348.6a	149.3ab	451.1b	51.6bc
SCV	48.8a	4.02a					
MMD	b	b	235.5bc	192.8bc	131.4b	452.9b	71.7ab
SCV	48.1a	3.81a					
MSR	b	b	439.3a	384.2a	172.0a	502.8a	50.7bc
LB							
MSL	38.6b	3.18b	210.9c	119.7c	68.2c	405.8c	48.3c
JN	64.4a	5.01a	392.4ab	284.1ab	60.5c	154.8d	83.7a

La biomasse microbienne sous LB est respectivement de 54 % et 48 % de celle de la JN et du SCV sur résidus (tableau 1). Bien que la BM-C et la respiration CO₂ soient plus faibles sous LB que sous JN, l'activité β -glucosidase du sol sous LB est similaire à celle obtenue sous JN et l'activité phosphatase acide est plus élevée. Le ratio activité enzymatique sur BM-C est élevé et suggère que le sol labouré contient une biomasse microbienne petite mais active. Au contraire, les SCV ont des teneurs de C et N du sol non différentes de la JN. De plus, les

sols sous SCV ont une BM-C et des activités microbiennes plus élevées (respiration CO₂, β -glucosidase, phosphatase acide) que celui sous labour et JN. A Bemasoandro, les mêmes tendances sont observées sauf pour la teneur en C du sol qui est plus élevée sous RSR, 135 % de celle de la JN.

La comparaison entre les SCV montre que la BM-C et la respiration CO₂ du sol dans le MSR sont similaires à celles du HSK. Tandis que dans le MMD, elles sont aussi faibles que sous LB. Ceci peut être attribué à l'effet inhibiteur de Desmodium, sa composition biochimique montre un taux de polyphénols plus élevé (Tsanuo et al., 2003). Des différences d'activités enzymatiques ont été observées entre les SCV selon le type d'enzyme (Table 1). Les SCV augmentent la densité de la macrofaune en particulier les vers de terre (Figure 1). La biomasse des vers de terre est plus élevée sous SCV que sous JN. Un effet net de la fertilisation est observé, un apport d'engrais minéral augmente sensiblement la macrofaune dans le sol que ce soit sous LB ou sous SCV.

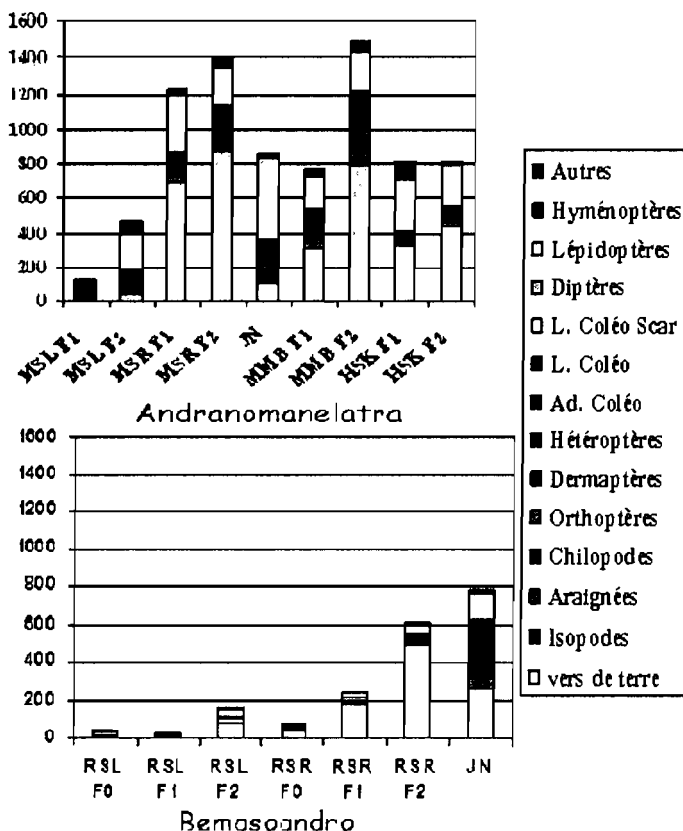


Figure 1 : Densité de la macrofaune du sol (nombre d'individus/m²) sous différents systèmes de culture à Andranomanelatra et Bemasoandro.

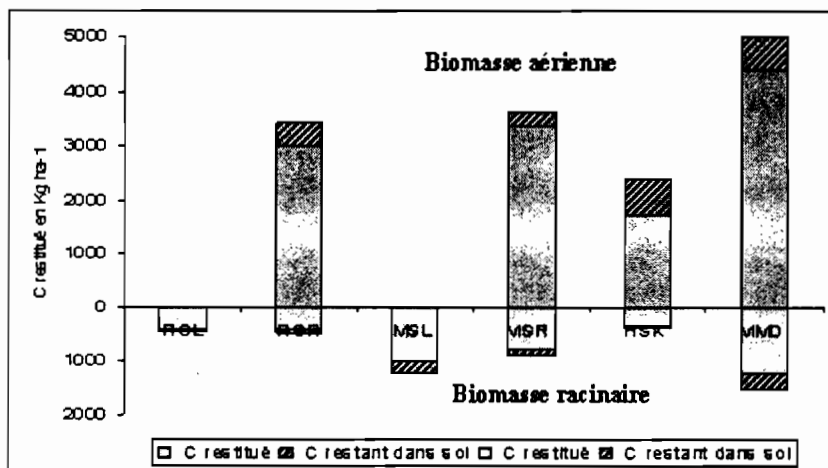


Figure 2 : La restitution en C apportée par les systèmes et leur potentiel d'humification

La dynamique de la MO dans le sol varie selon le système de culture et le mode de gestion du sol. Parmi les SCV, le système MMD restitue le plus de biomasse végétale et le plus de C (5661,23 kg ha⁻¹) tandis que c'est HSK qui restitue le moins de C, dû à sa biomasse végétale très faible malgré la couverture de kikuyu (Figure 2). Cependant, c'est le système HSK qui a une plus grande proportion de C résistant à la décomposition, 33,5 % de sa restitution en C, à cause de la teneur en lignine du haricot et du soja plus élevée. Pour MMD le C restant dans le sol n'est que 14,9 % de sa restitution en C (Figure 3).

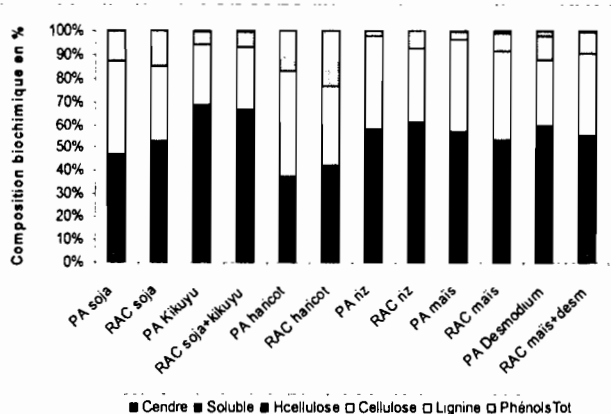


Figure 3 : Profil biochimique des plantes, PA : partie aérienne et RAC : racines

Ceci suggère que la performance du SCV n'est pas seulement déterminée par l'absence de labour ni par la seule présence de couverture du sol.

4. Conclusion

Notre étude confirme que la BM-C, les activités enzymatiques, la faune du sol sont des bioindicateurs sensibles pour l'étude d'impacts des modes de gestion du sol et des systèmes de culture. Il a été observé que le LB diminue la teneur en C et N et la qualité biologique du sol. Tandis que le SCV est une bonne alternative de gestion du sol, il maintient la qualité du sol par rapport à la jachère et améliore les activités des microorganismes. Mais ses effets sur le biofonctionnement dépendent du choix des cultures, de leurs associations et rotations déterminant la qualité et quantité de MO apportée au sol.

5. Références bibliographiques

- Haynes, R.J., Dominy, C.S., Graham, M.H., 2003. Effect of agriculture land use on soil organic matter status and composition of earthworm communities in KwaZulu-Natal, South Africa Agric. Ecosyst. Environ. 95, 453-464.
- Tsanuo, M.K., Hassanali, A., Hooper, A.M., Khan, Z., Kaberia, F., Pickett, J.A., Wadhams, L. J., 2003. Isoflavonones from the allelopathic aqueous root exudates of *Desmodium uncinatum*. Phytochemistry 64, 265-273.
- Van Soest, P. J., 1963. Use of detergents in the analyses of fibrous feeds. [I. A rapid method for the determination of fiber and lignin. J. Assn. Offic. Agr. Chem.. 46, 829-351.

CONFERENCE DEBAT

Les vers blancs du riz pluvial d'altitude (Col. Scarabaeoidea) à Madagascar : effets de la plante-hôte et de la matière organique du sol sur le comportement larvaire

Richard RANDRIAMANANTSOA¹, Alain RATNADASS², Henri-Pierre ABERLENC³, Maximin Y. RABEARISOA¹, Tahina E. RAJAONERA¹, Emile RAFAMATANANTSOA¹, Bernard VERCAMBRE⁴

¹ FOFIFA – URP/SCRiD, BP 230, Antsirabe, Madagascar < r.randriam@wanadoo.mg >

² CIRAD – URP/SCRiD, BP 853, Antananarivo, Madagascar

³ CIRAD – UMR CBGP, TA A-55/L, Campus international de Baillarguet (CIRI), 34398 Montpellier Cedex 5, France

⁴ CIRAD – UR Systèmes canniers, TA B-05/02, Avenue Agropolis, 34398 Montpellier Cedex 5, France

1. Introduction

Certains représentants de la superfamille des Scarabaeoidea, plus communément appelé vers blancs, causent d'importants dégâts sur les cultures pluviales. Des travaux ont montré que certains d'entre eux jouent un rôle dans l'amélioration de la structure du sol (Ratnadass et al. 2006) et que la matière organique stimule l'appétit d'*Heteronychus arator* (King, 1977).

Le comportement alimentaire de certaines larves de Scarabaeoidea présentes en riziculture pluviale d'altitude et l'effet phagostimulant de la matière organique sur les larves ont été étudiés dans le présent travail.

2. Matériels et Méthodes

2.1. Comportement alimentaire de certaines larves de vers blancs

a) Le comportement des larves de troisième stade de Dynastidae: *Heteroconus paradoxus*, *Heteronychus arator*, *Heteronychus bituberculatus* et *Heteronychus plebeius* et du Cetoniidae, *Bricoptis variolosa* a été étudié en microcosme divisé en 2 compartiments. Chaque compartiment était rempli de sol seul (SS), ou de sol mélangé à du fumier de bovin (SFB) ou de sol mélangé avec de la paille de riz broyée (SPB), répété 4 fois. Ces sols pauvres en matière organique provenaient d'Ibity et d'Andranomanelatra.

A l'extrémité de chaque compartiment un jeune plant de riz était repiqué. Une larve était placée vers le milieu une semaine après le repiquage. 14 jours après l'infestation, la larve était localisée et son comportement observé.

b) Le statut des larves de *B. variolosa* et *Apicencya waterloti* Melolonthidae a été étudié dans un autre dispositif à 4 répétitions. Chaque microcosme renfermait un plant de riz, du fumier de bovin et de la terre. Une larve était placée au milieu du terrarium à 2,5 cm de profondeur. Son déplacement et les types de dégâts causés à la plante étaient suivis et notés tous les jours.

4. Références

- King P. D. 1977. Effect of plant species and organic matter on feeding behaviour and weight gain of larval black beetle, *Heteronychus arator* (Coleoptera: Scarabaeidae) New Zealand Journal of Zoology 4: 445-448
- Rabearisoa M.Y. 2006. Effet du mode de gestion des sols et des systèmes de culture sur les vers blancs en culture pluviale. Diplôme d'Ingénieur en Sciences Agronomiques, Option : Agronomie de l'Athénée Saint Joseph Antsirabe. 88p
- Rajaonarison H.J. & Rakotoarisoa D. 1992.- *Bionomie et contrôle des Heteronychus arator, H. bituberculatus et H. plebejus* (Coleo. Scarabaeidae : Dynastinae).- 1992.- 45p.
- Randriamanantsoa R., Aberlenc H-P., Ralisoa O. B., Ratnadass A. & Vercambre B., 2007. Scarabaeoidea (Insecta, Coleoptera) en riziculture pluviale des régions de hautes et moyennes altitudes du Centre de Madagascar. Soumis et accepté le 18 juillet 2007 par la Revue Zoosystema.
- Ratnadass A., Randriamanantsoa R., Rabearisoa Y.M., Rajaonera T. E., Rafamantanantsoa, E. & Isautier C. 2006. – *Dynastid white grubs as rainfed rice pests or agrosystem engineers in Madagascar*, International Rice Congress; New Delhi, India , October 9-13, 2006.
- Ridsdill Smith T.J. 1975. Selection of living grass roots in the soil by larvae of *Sericesthis nigrolineata* (Coleoptera: Scarabaeidae). Ent. Exp & appl. 18 : 75-86.

2.2. Etude de l'effet phagostimulant de la matière organique sur les vers blancs

L'étude a été menée sur des larves d' *H. paradoxus* et d'*H. arator rugifrons* placées dans des petites boîtes remplies avec 4 types de sol pauvre en matière organique provenant d'Andranomanelatra, d'Ibity et d'Ivory, auquel était ajoutée de la paille de riz broyé (1 g de paille / 40 g de sol). 3 traitements, avec 4 répétitions, constitué d'un sachet en tissu renfermant du sol pauvre (SP), ou du fumier de bovin (FB) ou de l'humus liquide Elvisem® (HL) à raison de 200 ml/2,250 kg ont été comparés. Pour chaque traitement, on plaçait une larve d'*H. paradoxus* ou d'*H. arator rugifrons*. Le pesage des larves était réalisé hebdomadairement pendant 4 semaines.

3. Résultats et Discussions

1) Toutes les larves des espèces étudiées, *H. paradoxus*; *H. arator rugifrons*; *H. bituberculatus* et *H. plebeius* à l'exception de *B. variolosa* ont attaqué le plant de riz en présence de sol pauvre mélangé avec du fumier de bovin (SFB) et/ou du sol pauvre seul (SS). Les attaques étaient beaucoup plus importantes sur milieu mélangé avec du fumier de bovin (Fig.). En effet, en présence d'une source de matière organique (cas de sol pauvre avec de la paille de riz broyé (SPB), ce milieu constitue une source de nourriture pour la larve et elle attaque moins la plante. Des expériences ont montré que les élevages conduits sur des débris végétaux secs mélangés avec du sol permettent un développement favorable de la larve de Dynastidae (Rajaonarison et al. 1992). En revanche, si le milieu est complètement dépourvu de cette qualité (cas de sol pauvre) la larve s'attaque aux racines de la plante.

2) La prise de nourriture des larves en présence d'effluves de fumier de bovin a été significativement différente à $P=5\%$ par rapport au sol pauvre et à l'humus liquide. La matière organique agit comme phagostimulant sur le comportement alimentaire des larves (King, 1977 ; Rabearisoa, 2006). Ceci explique l'importance des dégâts sur un milieu enrichi en fumier de bovin dans le cas de certaines espèces. Par contre, d'autres espèces sont typiquement rhizophages et préfèrent les racines des plants, cas d'*Apicencya waterloti*, tandis que *B. variolosa*, saprophage, a été toujours localisée au niveau du fumier de bovin.

Le comportement de la larve est lié à la présence de la matière organique. *Sericesthis nigrolineata* (Scarabaeidae) se déplace moins dans un sol avec des racines vivantes que dans un sol nu (Ridsdill Smith, 1975). Les systèmes de culture sous couverture morte ou vivante pourraient jouer ainsi un rôle important dans ce sens. En effet, si certaines espèces comme *Heteronychus* spp et *H. paradoxus* sont des rhizophages facultatifs (pouvant être à la fois rhizophage et saprophage en présence ou non d'une source de matière organique), d'autres sont saprophages obligatoires comme *B. variolosa* à l'inverse d'*Apicencya waterloti* qui est un rhizophage strict. Beaucoup de recherches sont à poursuivre dans ce domaine. Mais il faut souligner que toute stratégie de contrôle à entreprendre repose en premier lieu sur une bonne connaissance de l'espèce : diagnostic morphologique de l'espèce et connaissance de son comportement alimentaire (Randriamanantsoa et al. 2007)

Impacts d'un système de culture à base de riz pluvial et de semis direct sur couverture végétale (SCV) sur la macrofaune du sol à Madagascar, avec référence particulière aux effets sur la production du riz

Alain RATNADASS (1), Richard RANDRIAMANANTSOA (2), Tahina E. RAJAONERA (2), Emile RAFAMATANANTSOA (2), Fidiniaina RAMAHANDRY (2), Mamonjiniaina RAMAROFIDY (2) & Roger MICHELLON (3)

(1) CIRAD – URP/SCRiD, BP 853, Antananarivo, Madagascar, ratnadass@cirad.fr

(2) FOFIFA-URP/SCRiD, BP 230, Antsirabe, Madagascar, r_randriamanantsoa@yahoo.fr

(3) CIRAD/TAFA, BP 319, Antsirabe, Madagascar, michellon@cirad.mg

1. Introduction

Si les systèmes de culture avec semis direct sur couverture végétale (SCV) démontrent depuis une quinzaine d'années leur capacité à réduire la dégradation des sols et améliorer la productivité des systèmes rizicoles pluviaux à Madagascar par rapport aux systèmes conventionnels avec labour, leur effet sur les populations et dégâts d'insectes terricoles sur riz pluvial restent mal connus. Si certains systèmes aggravent ces dégâts au Lac Alaotra, d'autres sont au contraire bénéfiques, comme notamment mis en évidence en 2002-03 en systèmes SCV à base de riz pluvial et de soja, sur deux sites des Hautes-Terres du Vakinankaratra (Ratnadass et al. 2005). On a poursuivi durant les campagnes 2004-05 et 2006-07 des études sur ces sites pour déterminer les facteurs explicatifs de la réduction de ces dégâts

2. Méthodologie

La macrofaune tellurique et ses dégâts au riz pluvial ont été étudiés en 2004-05 et 2006-07 à Andranomanelatra et Ibity (altitude env. 1 500 m) sur du riz pluvial venant en succession d'un soja dans lequel de l'avoine avait été semée en dérobée (2003-04 & 2005-06), après un riz (2002-03) venant en succession d'une association soja-crotalaire (2001-02), succédant elle-même à du riz (2000-01) venant en succession d'une association soja-maïs (1999-2000), après ouverture du système en riz en 1998. La variété FOFIFA 161 a été évaluée en deux modes de traitement de semences (association imidaclopride/thirame Gaucho® T45WS à 2,5 g/kg de semences vs témoin non traité) en labour d'une part et sur résidus de récolte d'autre part. A partir de 2004-05, pour hiérarchiser les facteurs sous labour et semis direct pouvant affecter les populations d'insectes terricoles et leurs dégâts, on a subdivisé sur les deux sites chacun des blocs (resp. labour et semis direct), en trois sous-modes de gestion du sol : 1) Labour avec enfouissement des pailles ; 2) Labour sans enfouissement des pailles ni paillage ; 3) Labour sans enfouissement des pailles et avec paillage renforcé ; 4) Semis direct sur couverture normale de résidus de récolte ; 5) Semis direct sans couverture ; 6) Semis direct sur couverture renforcée de résidus de récolte.

En 2004-05, un mois après semis, cinq pièges Barber ont été implantés en quinconce dans chaque parcelle, et relevés une semaine après, pour détermination de la macrofaune épigée. Deux fois par mois, du semis à la récolte, on a échantillonné la macrofaune endogée, en découpant dans chaque parcelle une carotte (emplacement choisi au hasard) de section carrée de 25 cm de côté en tranches selon les horizons : litière, 0-5, 5-10, 10-20 et 20-30 cm. On a dénombré et pesé par horizon toute la faune visible à l'œil nu, après regroupement par groupes taxonomiques.

En 2004-05 & 2006-07, on noté visuellement l'attaque du riz par les insectes terricoles au tallage et juste avant la récolte, sur une échelle de 1 à 5 (où 1 = aucun dégât, et 5 = 100% des brins attaqués).

3. Résultats

En 2004-05, au niveau de la faune épigée, les coléoptères phytophages étaient plus abondants à Andranomanelatra sur tous les traitements en semis direct non traités que sur les autres modes de gestion du sol quel que soit le traitement, alors qu'à Ibity, les captures étaient négligeables en semis direct par rapport aux traitements en labour. A Andranomanelatra comme à Ibity, les captures d'araignées (prédateurs) étaient très nombreuses sur tous les traitements en semis direct, avec ou sans traitement de semences, alors qu'elles étaient négligeables sur tous les traitements en labour. Pour la faune endogée, alors qu'à Andranomanelatra, les vers blancs étaient globalement plus abondants en parcelles traitées qu'en parcelles témoins, sans qu'il se dégage d'effet du mode de gestion du sol, à Ibity en revanche, ils étaient globalement plus abondants en labour qu'en semis direct, sans qu'il se dégage d'effet du traitement des semences.

Alors qu'à Ibity, la tendance observée jusqu'en 2002-03 de réduction des attaques en SCV par rapport au labour (Ratnadass et al. 2005) est allée en se confirmant, l'inverse a été observé à Andranomanelatra, où les attaques en semis direct ont été plus importantes qu'en labour, notamment sur semis direct avec couverture normale. Toutefois, le niveau d'attaque était faible (<5% de poquets manquants). Le traitement de semences s'est traduit par un gain de rendement de 0,7 t/ha, les différences étant plus marquées en semis direct qu'en labour. En parcelles non traitées, les rendements étaient plus élevés en labour (moyenne sur les 3 modes de gestion : 2,2 t/ha) qu'en semis direct (moyenne : 1,4 t/ha). A Ibity, les attaques, plus importantes qu'à Andranomanelatra, étaient réduites par le traitement de semences sur tous les modes de gestion du sol. Quel que soit le mode de gestion du sol en semis direct et en labour, le traitement de semences a eu un effet significatif sur le rendement : gain moyen de 0,8 t/ha. Les rendements resp. les plus faibles et les plus élevés étaient obtenus sur semis direct à couverture normale (0,7 t/ha sur témoin) et à couverture renforcée (2,7 t/ha sur traité).

4. Conclusion

Nos premières observations sur le système étudié avaient montré, au bout de 4 ans, un effet positif du SCV par rapport au labour, sur la biodiversité de la macrofaune du sol (notamment au niveau des ravageurs), et sur l'attaque et le rendement du riz pluvial (Ratnadass et al. 2005). Cependant, durant les 4 années suivantes, on a observé une augmentation des populations et dégâts de bio agresseurs sur les deux sites, en particulier des attaques racinaires tardives de larves de Melolonthidae. Cela est probablement à lier à l'introduction de l'avoine en dérobée dans le système (Ratnadass et al. 2007). Toutefois, des différences à ce niveau se sont creusées entre les sites d'Andranomanelatra et Ibity, i.e meilleur comportement du labour par rapport au SCV sur le 1er site, l'inverse sur le second. Ces différences peuvent provenir de différences entre les deux sites en matière d'entomofaune, mais des explications de nature pédologique ont aussi été recherchées, avec en mai-juin 2007, des comptages racinaires effectués sur des profils réalisés sur les blocs «Labour enfoui» et «SCV normal» de chacun des 2 sites. Les résultats en cours d'analyse, font apparaître une différence de profondeur du sol à Ibity entre le bloc en labour et celui en SCV, qui se retrouve au niveau du comptage des racines (en faveur du SCV), alors qu'il n'y a quasiment pas de différence à Andranomanelatra.

5. Références

- Ratnadass, A., Andrianaivo, A., Michellon, R., Moussa, N., Randriamanantsoa, R., Séguy, L. 2005. Impact of a Direct seeding, Mulch-based, Conservation agriculture (DMC) rainfed rice-based system on soil pest and Striga infestation and damage in Madagascar. Poster presented at the III World Congress on Conservation Agriculture, Nairobi, Kenya, 3-6 Oct 2005.
- Ratnadass, A., Rafamantanantsoa, E., Rajaonera, T.E., Ramahandry, F., Ramarofidy, M., Randriamanantsoa, R., Séguy, L. 2007. Dispositifs pour l'évaluation des impacts des systèmes de culture sur les dégâts des insectes terricoles sur le riz pluvial à Madagascar. Poster présenté au Séminaire international « Les sols tropicaux en semis direct sous couvertures végétales ». Madagascar, 3-7 Déc. 2007.

Evolution de l'entomofaune et de l'abondance d'*Heteronychus* spp (Scarabaeidae – Dynastinae) sur riz pluvial sous couverture végétale morte et contrôle biologique de ce ravageur par utilisation de *Metarhizium anisopliae* à Madagascar

Charlotte RAZAFINDRAKOTO RAELIARISOA ¹,
Herizo Lalaina RAKOTOARISOA ¹
& Andrianantenaina RAZAFINDRAKOTOMAMONJY ²

¹ FOFIFA-CRRME/URP SCRiD, BP 30, Ambohitsilaozana, Madagascar,
[nasojanjaka@yahoo.fr](mailto:nasoanjaka@yahoo.fr)

² FOFIFA – DRA, BP 1444, Antananarivo 101, MADAGASCAR

1. Introduction

Dans la région du Lac Alaotra (Madagascar) l'extension des techniques de semis direct sur couverture végétale (SCV), dont les effets positifs sur la fertilité du sol, la réduction de l'érosion et l'augmentation de la production sont bien connus, ouvrent de nouvelles perspectives au développement des cultures pluviales. Toutefois, comparées au labour, les techniques avec couverture morte (paillage ou résidus de récolte), favorisent les populations et dégâts d'insectes terricoles, notamment sur riz pluvial (Ratnadass et al., 2006), particulièrement *Heteronychus plebejus* (Coleoptera : Scarabaeidae), ennemi N°1 des céréales pluviales dans la région (Razafindrakoto, 1998). Par ailleurs, des travaux du FOFIFA ont montré que sur labour, *H. plebejus* était contrôlé efficacement par traitement de sol avec une souche du champignon entomopathogène *Metarhizium anisopliae* (Razafindrakoto, 1998). Aussi des études ont été entreprises de 2004 à 2007 au Centre régional de recherche du Moyen-Est (CRRME) du FOFIFA (Ambohitsilaozana), pour déterminer l'efficacité biologique de *M. anisopliae* sur *H. plebejus* sur riz pluvial en SCV sur couverture végétale morte.

2. Matériels et méthodes

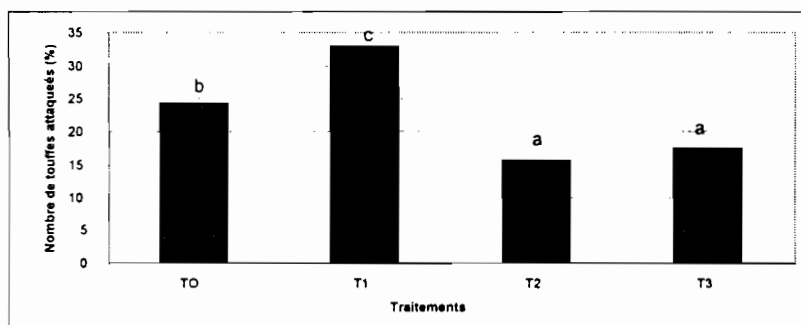
En 2004, une parcelle expérimentale de 1 ha située près du village d'Ambatofotsy (17°41' lat. S, 48°27' long. E, alt. 765 m), dans le domaine du FOFIFA-CRRME, sur colluvions de bas de pente, a été divisée en 4 blocs comportant chacun 4 parcelles élémentaires de 18x26 m correspondant à 4 modalités de traitements de sol (T0=Témoin non traité à sol nu et labouré ; T1=sol paillé non labouré et non traité ; T2=sol nu, labouré et traité par *M. anisopliae* ; T3=sol paillé, non labouré et traité par *M. anisopliae*). La solution contenant les spores vertes de *M. anisopliae* a été pulvérisée sur les parcelles T2 et T3, suivant les sillons du labour à la dose de $3,36 \times 10^{12}$ spores/ha, en août 2004 et en juin 2005. Les semences du riz (cv B.22) n'ont pas fait l'objet de traitement insecticide/fongicide. Chaque campagne, 15, 30 et 45 jours après semis (JAS), les touffes et tiges attaquées par *Heteronychus* spp ont été

comptées sur 15 positions prises au hasard d'un carré de 1m² sur chaque parcelle élémentaire. L'évolution des populations de vers blancs a été suivie par prélèvements mensuels de carottes de sol au cylindre métallique (D : 20 cm X h : 20 cm), sur 15 positions au hasard sur chaque parcelle élémentaire. Tous les invertébrés ont été dénombrés, et les larves de Scarabaeidae (vers blancs) ont fait l'objet d'une identification préliminaire à la sous-famille, voire au genre, par observation du raster. Les stades pré-imaginaux d'insectes ont été placés dans des boîtes individuelles (D : 5 cm X h : 6 cm), remplies aux 2/3 de terre additionnée de débris végétaux, et placées en élevage au laboratoire à température ambiante en vue d'une identification au moins jusqu'à la sous-famille à l'émergence des imagos, en se référant à la collection entomologique du FOFIFA-CRRME.

Les adultes de Scarabaeidae et les autres organismes de la macrofaune ont été conservés dans l'éthanol à 70%. A la récolte, le rendement a été mesuré sur les 96 touffes de riz prises sur les parties centrales des parcelles du dispositif.

3. Résultats

En 2004-2005, la levée a été plus faible, et les % de touffes et de tiges attaquées plus élevés sous couverture que sur labour, sans effet du champignon, alors que sur labour, l'effet du champignon s'est manifesté dès 15 JAS, et encore plus nettement 50 JAS pour les 2 paramètres. Ces résultats ont été confirmés en 2005-2006 : sans application de champignon, les % de touffes attaquées ont été supérieurs sous paillage par rapport au labour à 30 JAS, alors qu'ils étaient réduits sur les parcelles inoculées, quelle que soit la couverture du sol (Fig.1). Les nombres d'insectes prélevés (cumuls de 4 prélèvements) ont été supérieurs sur les parcelles couvertes et non traitées (T1) par rapport aux 3 autres traitements (Fig.2).



T0 = témoin parcelle non traitée et nue ; T1 = parcelle non traitée et couverte ;
T2 = parcelle traitée avec le champignon et nue ;
T3 = parcelle traitée avec le champignon et couverte.

Fig.1 : Pourcentages des touffes attaquées par *Heteronychus* spp. (Campagne 2005-06 ; les moyennes surmontées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%).

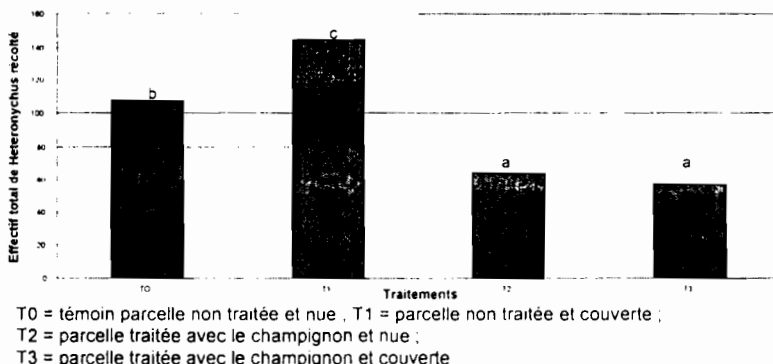


Fig.2 : Abondance d'*Heteronychus* spp.

(Campagne 2005-06 ; les moyennes surmontées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%)

En 2006-2007 également, les parcelles T2 et T3 ont été significativement moins attaquées en fin tallage que les parcelles T1, et dans une moindre mesure T0, ce qui s'est retrouvé au niveau du rendement et des effectifs, l'espèce *H. plebejus* étant largement dominante.

4. Conclusions

Le traitement de sol au *Metarhizium* peut constituer une alternative durable au traitement insecticide des semences de riz pluvial pour lutter contre *Heteronychus* spp car plus rentable (le traitement n'étant pas répété tous les ans), sans impact environnemental, et compatible avec le système agroécologique SCV. Des essais devraient également être conduits sur les nouveaux systèmes SCV avec couvertures végétales vives qui sont actuellement diffusés.

5. Références bibliographiques

- Rajaonarison, J.H. et D. Rakotoarisoa, 1993. Contrôle des populations d'*Heteronychus* (Coleo. Scarabaeidae : Dynastinae). *Protection Intégrée en riziculture au Lac Alaotra - Rapport de campagne des saisons 1991 et 1992*. PLI, Antananarivo, Madagascar, 45 p.
- Ratnadass, A., R. Michellon, R. Randriamanantsoa et L. Seguy, 2006. Effects of soil and plant management on crop pests and diseases. In: Uphoff, N., Ball, A.S., Fernandes, E., Herren, H., Husson, O., Laing, M., Palm, C., Pretty, J., Sanchez, P. [eds.]. *Biological approaches to sustainable soil systems*, pp. 589-602. CRC Press, Boca Raton, U.S.A.
- Razafindrakoto, C. 1998. Biological control against *Heteronychus* sp. (Coleoptera, Dynastidae, Dynastinae), a polyphagous soil pest in Madagascar. *FAO/IAEA International Conference on Area-Wide Control of Insect Pests integrating the Sterile Insect and Related Nuclear and Other Techniques*, Penang, Malaysia, 28 May-2 June, 1998).

Les nématodes, reflet du fonctionnement biologique des sols en semis direct sous couverture végétale

Cécile VILLENAVE¹, Djibril DJIGAL², Eric BLANCHART¹, Alain RATNADASS³, Jean-Luc CHOTTE¹, Bodovololona RABARY³

¹ UR 179 SeqBio IRD SupAgro Montpellier, France,

² UR 179 SeqBio LEMSAT IRD ISRA Dakar, Sénégal,

³ FOFIFA-SCRID, Antsirabe, Madagascar.

1. Introduction

La nématofaune des sols est constituée de nématodes phytoparasites, bien connus pour les dégâts qu'ils peuvent occasionner sur les cultures, ainsi que de nématodes libres dont une grande part est microbivore. Du fait de l'abondance et de la diversité des nématodes dans les sols ainsi que de leurs caractéristiques biologiques, ces organismes sont de bons candidats à leur utilisation comme bio-indicateurs de l'état du sol. La composition de la nématofaune du sol a été étudiée trois années successivement (2005-2006-2007) dans des systèmes en semis direct avec couverture végétale (SCV) mis en place dans un dispositif agronomique. L'objectif était de déterminer quelles étaient les modifications de fonctionnement biologique du sol dans ces différents systèmes révélés par l'analyse des nématodes du sol.

2. Matériel et méthodes

Le site d'étude se situe à Antsirabé, dans les hautes terres à Madagascar (température moyenne 16°C et pluviométrie moyenne 1300 mm). Le dispositif a été mis en place en 1991 par l'ONG malgache TAFE avec l'appui du CIRAD. Quatre traitements du dispositif ont été étudiés, 1) un système en labour conventionnel : CT m/s, rotation maïs (*Zea mays* L.)-soja (*Glycine max.* L.), et trois systèmes en SCV sans travail du sol (No-tillage, NT) : 2) NT m/s, rotation maïs-soja, 3) NT m/m-d, rotation maïs-maïs avec une couverture végétale de *Desmodium uncinatum*, et 4) NT h/s-k, rotation haricot (*Phaseolus vulgaris*)-soja avec une couverture de *Pennisetum clandestinum* ; les résidus de récolte sont exportés des parcelles en labour conventionnel alors qu'ils sont restitués pour les SCV. Enfin la végétation naturelle (Bozoaka) présente autour de la parcelle a également été l'objet de prélèvements ; elle est composée essentiellement par une strate herbacée et quelques arbustes. Les résultats présentés ici concernent le niveau de fertilisation moyen qui consiste en une association de fumier bovin (5 Mg ha⁻¹) et d'engrais minéraux (NPK) (Razafimbelo, 2005). Le sol est un sol ferrallitique fortement désaturé humifère. Des échantillons de sol ont été prélevés fin janvier 2005, 2006 et 2007. Sur chacune des 12 parcelles du dispositif agronomique et pour 5 sites dans la bozoaka, 5 prélèvements élémentaires ont été réalisés sur la strate 0-5 cm à l'aide de cylindres de 250 cm³ et ont été rassemblés pour former un échantillon composite. Sur chaque échantillon composite une mesure de l'humidité du sol a

été réalisée. Les nématodes ont été extraits par élutriation (Seinhorst, 1962), dénombrés, fixés dans une solution formolée (Villenave et al., 2001). Les nématodes ont ensuite été montés dans des lames d'ensemble (environ 250 nématodes) avant d'être identifiés sous microscope (x 300) au niveau du genre ou de la famille puis regroupés par groupe trophique (Yeates et al., 1993) et en guildes fonctionnelles qui regroupent des nématodes du même groupe trophique possèdent les mêmes caractéristiques de traits d'histoire de vie (type r ou K) (Ferris et al., 2001).

La détermination de l'abondance relative des nématodes dans les différentes guildes fonctionnelles permet de calculer différents index (Index de Maturité, de Structure et d'Enrichissement) dont les détails de calcul sont présentés dans Ferris et al., 2001.

Une anova2 a permis d'analyser les effets du système de culture ainsi que de l'année d'analyse sur les différents paramètres nématologiques.

3. Résultats et discussion

La structure de la nématofaune est stable au cours du temps pour la période d'étude. Seuls les nématodes carnivores et omnivores présentent des différences d'abondance entre les trois années (Tableau 1).

Tableau 1 Humidité du sol (%) et densités (nombre de nématodes / 100 g-1 sol sec) des différents groupes trophiques de nématodes du sol dans les différents systèmes étudiés, Index de maturité, d'enrichissement et de structure

Rotation	Bozaka	CT m/s	NT m/s	NT h/s-k	NT m/m-d	2004/2005	2005/2006	2006/2007	effet système	effet date	interaction
nb ¹	17	9	9	9	9	17	18	18			
Humidité (%)	45,6 b	40,0 a	39,6 a	40,8 a	42,7 a	46,0 b	37,3 a	44,0 b	***	***	**
Bactérovores	306	658	160	299	524	347	475	306	NS	NS	NS
Fongivores	124 a	129 a	27 a	85 a	182 b	99	123	112	***	NS	***
Phytophages	575 a	360 a	298 a	409 a	920 b	672	473	429	***	NS	NS
Carnivores	7	0	13	21	9	21 b	2 a	7 a	NS	***	NS
Omnivores	280 b	107 a	147 a	340 b	351 b	375 b	216 a	167 a	***	**	NS
Total	1292 a	1254 a	645 a	1154 a	1986 b	1513	1289	1022	***	NS	NS
Index de Maturité (MI)	2,90 c	2,51 a	3,10 c	3,20 c	2,76 b	3,21 b	2,82 a	3 a	***	***	NS
Index d'Enrichissement (IE)	47,5 b	24,2 a	43,8 ab	34,3 a	43,6 ab	36,6	45,8	37,4	**	NS	NS
Index de Structure (IS)	76,7 c	52,9 a	82,7 c	85,2 c	72,1 b	83,6 b	73,2 a	66,7 a	***	***	NS

¹ nombre d'échantillon

*** différence significative au seuil de 0,001%; ** : différence significative au seuil de 0,01%; NS: différence non significative

CT m/s rotation maïs *Zea mays* L.-soja (*Glycine max* L.), NT m/s sans travail du sol & rotation maïs-soja;

NT m/m-d sans travail du sol & rotation maïs-maïs avec une couverture végétale de *Desmodium uncinatum*;

NT h/s-k sans travail du sol & rotation haricot (*Phaseolus vulgaris*)-soja avec une couverture de *Pennisetum clandestinum*

La composition et la structure de la nématofaune est clairement différente en fonction du travail du sol et de la couverture végétale dans les systèmes étudiés. La bozaka présente simultanément de forts MI, EI et SI. Un fort MI ainsi qu'un fort SI couplé à un EI élevé caractérise un milieu stable où les micro-chaines trophiques du sol sont complexes et développées.

Au contraire, le traitement avec labour (CT) présente les valeurs les plus faibles de ces indices ; les assemblages de nématodes du sol sont dominés par des nématodes microbivores de type opportunistes peu sensibles aux perturbations du milieu. Les nématodes fragiles (carnivores et omnivores) ont disparu de ce système.

Le traitement NT m/s est pauvre en nématodes, contrairement au traitement avec labour il contient très peu de nématodes bactériovores et a fortiori très peu de nématodes bactériovores opportunistes ; par contre les omnivores et prédateurs sont relativement abondants par rapport aux nématodes microbivores. C'est donc un système où les chaînes trophiques sont longues mais où l'intensité des processus doit être faible (faible compartiment microbien et nématologique).

La rotation maïs / maïs avec *Desmodium* en couverture vive présente les densités de nématodes fongivores les plus élevées mais également les plus fortes densités de nématodes phytoparasites en raison d'une prolifération des *Meloidogyne*. Dans la mesure où ce nématode peut induire des dégâts considérables sur certaines cultures, cet effet sera à approfondir.

C'est le système NT h/s-k qui présente l'assemblage de nématode le plus structuré des pratiques sans labour.

Contrairement à d'autres études, nous n'avons pas mis en évidence que les nématodes fongivores sont favorisés en techniques simplifiées (Neher 1995), à l'exception du traitement avec couverture vive de *Desmodium*. Toutefois, les densités de nématodes bactériovores tendent à être plus élevées dans le traitement avec labour mais les différences ne sont pas significatives. Les nématodes omnivores sont également plus abondants sans labour dans les traitements avec couvertures vivantes (Yeates et Bongers, 1999).

Des analyses complémentaires sont en cours pour confirmer ces résultats dans d'autres conditions de SCV (autre niveau de fertilisation, autre site), à un niveau taxonomique plus fin (genres et familles et en plus des groupes trophiques). Il s'agira également pour mettre en relation les données nématologiques à certains paramètres physico-chimiques et biologiques du sol disponibles sur le site afin d'être plus fin dans l'interprétation des différences de composition de nématofaune et de mieux cerner les propriétés d'indicateurs.

4. Références :

- Ferris H, Bongers T and de Goede R G M 2001 A framework for soil food web diagnostics: extension of the nematode faunal analysis concept. *Applied Soil Ecology* 18, 13-29.
- Neher D A 1995 Biological diversity in soils of agricultural and natural ecosystems. In *Exploring the role of diversity in sustainable agriculture*, Ed American Society of Agronomy, Crop science Society and Soil science society of America. pp 55-72, Madison, WI, USA.

- Razafimbelo T M 2005 Stockage et protection du carbone dans un sol ferrallitique sous systèmes en semis direct avec couverture végétale des hautes terres malgaches. Thèse pp 141. ENSA Montpellier.
- Seinhorst J W 1962 Modifications of the elutriation method for extracting nematodes from soil. *Nematologica* 8, 117-128.
- Villenave C, Bongers T, Ekschmitt K, Djigal D and Chotte J-L 2001 Changes in nematode communities following cultivation of soils after fallow periods of different length. *Applied Soil Ecology* 17, 43-52.
- Yeates G W and Bongers T 1999 Nematode diversity in agroecosystems. *Agriculture Ecosystems & Environment* 74, 113-135.
- Yeates G W, Bongers T, de Goede R G M, Freckman D W and Georgieva S S 1993 Feeding habits in soil nematode families and genera - An outline for soil ecologists. *J nematol* 25, 315-331.

5. Remerciements

Cette étude a pu être menée grâce au financement de l'ADEME (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie) obtenu dans le cadre de l'appel d'offre ECO-ECOGER (France). Les auteurs témoignent leur reconnaissance à toutes les personnes qui ont permis et facilité ces études à Madagascar, les membres de l'ONG TAFA et du CIRAD en particulier ainsi que de l'IRD Madagascar.

SYMPOSIUM 3

ELEMENTS NUTRITIFS MAJEURS ET MINEURS

Biodisponibilité des nutriments : cas des sols tropicaux conduits en semis direct sous couverts végétaux

Lilia RABEHARISOA

*Laboratoire des Radio Isotopes. BP 383 Route d'Andraisoro. 101 Madagascar.
e-mail : lilia.rabeharisoa@ird.fr*

Kofi Annan (2007), Président de l'Alliance pour une révolution verte en Afrique, rappelait très récemment qu'un programme global de développement de l'agriculture en Afrique avait été entériné. Chaque peuple ayant le droit de se nourrir par eux-mêmes (Hervieu, 1996). Kofi Annan fixait comme objectif une croissance annuelle de la production alimentaire de 6 % en précisant que l'Afrique, seul continent dans lequel la production alimentaire est en baisse constante, ne pourra rompre le cycle de la faim et de la pauvreté qu'en produisant d'avantage de nourriture et des aliments plus riches en nutriments. Madagascar s'inscrit entièrement à ce défi en lançant la révolution verte durable dont l'objectif est de doubler la production agricole d'ici 2015 (MAP, 2007). Ce défi nous interpelle à chercher les moyens à mettre en œuvre pour que soient atteints ces deux objectifs qui reposent en phase initiale sur les sols qui sont à la fois un support et une source de nutriments pour les végétaux; une situation qui impose de connaître les sols et leurs fonctions dans l'espace rural (Stengel, 2000).

L'objet de cette présentation est de rappeler que :

- seul un petit nombre d'éléments est indispensable aux plantes ;
- ces éléments indispensables, à l'exception de C, de O et de H, sont essentiellement prélevés sous forme minérale dans les terres ;
- ces éléments doivent quitter la phase solide des terres pour rejoindre, selon un temps plus ou moins long, leur phase liquide ; et c'est cette dimension temporelle qui permet d'imbriquer agronomie et durabilité des systèmes ;
- le transfert depuis les constituants des sols jusque dans la plante passe, via la phase liquide, par les racines et leurs éventuels auxiliaires microbiens ;
- toute production agricole impose un transfert de nourriture, donc d'éléments nutritifs, depuis les champs jusqu'aux zones, où les produits vivriers sont consommés ;
- la durabilité d'un tel système impose que des retours d'éléments nutritifs pour les végétaux aient lieu vers les parcelles cultivées. Ce retour est un des maillons essentiels indispensable du cycle durable des éléments nutritifs.

Toute nutrition des plantes impose donc d'avoir séquentiellement : des terres, de la solution du sol, des éléments nutritifs présents sous une forme consommable par les plantes, des racines et des microorganismes associés, et enfin un système permettant de concrétiser le cycle des éléments depuis le champ jusqu'au consommateur. Un seul maillon vous manque et tout s'arrête !

L'examen de cette séquence nous conduira à évoquer les fonctions des matières organiques qui ne sont pas vraiment des éléments nutritifs mais dont la présence peut fortement influencer les prélèvements des éléments nutritifs par les plantes. Ceci permettra de rappeler quelques particularités rencontrées dans les sols sous climats tropicaux et l'intérêt que peut parfois présenter, dans ces types de sols, le semis direct sous couvert végétal pour améliorer, par rapport aux pratiques culturales avec labour, le cycle des éléments nutritifs, en particulier en matière d'efficacité des éléments nutritifs vis-à-vis de la production végétale.

Cette communication introductive développera ainsi :

1. La nutrition minérale des plantes
2. Les éléments nutritifs et biodisponibilité
3. Les rôles des composés organiques et des organismes vivant sur la biodisponibilité des éléments minéraux
4. Les moyens mis en œuvre pour assurer la satisfaction des besoins d'éléments nutritifs indispensables aux plantes
5. Les spécificités des agro écosystèmes sous climats tropicaux conduits en semi-direct sous couvert végétal
6. Conclusions

Références bibliographiques

- Hervieu B (1996) *Du droit des peuples à se nourrir eux-mêmes*. Flammarion. Paris. 135 p. ISBN. 2-08-067317-3.
- Kofi A. (2007) Pour une révolution verte en Afrique. *Le Monde* n° 19427. 11 juillet 2007. page 17
- MAP (2007): Madagascar Action Plan : www.madagascar.gov.mg/MAP
- Stengel P (2000) Connaître le sol : nouveaux enjeux pour la gestion des territoires ruraux. *OCL* Vol 7, n°6 : 485-489.

L'écobuage : une pratique a faible cout pour restaurer rapidement la fertilité du sol et augmenter la production

Roger MICHELLON¹, Narcisse MOUSSA², Célestin
RAZANAMPARANY², RAKAMIARAMANANA³, Olivier HUSSON⁴,
Lucien SEGUY⁵

¹ CIRAD, UPR Couverts Permanents, Antsirabé, Madagascar; CIRAD, UPR Couverts Permanents, Montpellier, F-34398 France ; TAFE, Antsirabé, Madagascar. michellon@cirad.fr

² TAFE, TAny sy Fampandrosoana, BP 266, Antsirabe 110, Madagascar.
tafaantsirabe@moov.mg

³ FOFIFA, Centre national de la Recherche appliquée au développement rural, BP 230, Antsirabe 110, Madagascar. fofifa-abe@moov.mg

⁴ CIRAD, UPR Couverts Permanents, Antananarivo, Madagascar ; CIRAD, UPR Couverts Permanents, Montpellier, F-34398 France ; Groupement Semis Direct Madagascar, Antananarivo, Madagascar. hussong@cirad.fr

⁵ CIRAD, UPR Couverts Permanents, Goiânia GO, Brésil ; CIRAD, UPR Couverts Permanents, Montpellier, F-34398 France. seguy@cirad.fr

1. Introduction

En Afrique, le prix élevé des engrais, ou leur indisponibilité empêche les agriculteurs aux faibles ressources d'intensifier les cultures sur les sols dégradés, peu fertiles. Sur les Hautes-Terres malgaches, la saturation des bas fonds rizicoles et la forte pression démographique accélèrent la mise en culture des collines aux sols essentiellement ferrallitiques, pauvres et fragiles. De plus, sous l'effet des basses températures, la matière organique évolue lentement et piège des éléments utiles pour les plantes (Chabanne et al, 1996). Le sol soumis aux feux de brousse et aux labours successifs, subit une érosion qui enseble les rizières et détruit les aménagements.

2. Objectifs

Face à ces contraintes, l'écobuage, traditionnel en Afrique et en haute altitude à Madagascar, a été expérimenté en semis direct sur couverture végétale (S.C.V.) afin d'améliorer durablement la productivité avec un minimum d'intrants. Pour évaluer les effets directs et résiduels de cette pratique, en fonction de sa fréquence et de la biomasse brûlée, des essais ont été réalisés pendant 6 ans par TAFE, le CIRAD et le FOFIFA sur différents types de sols.

3. Matériels et méthode

L'écobuage consiste à brûler des herbes desséchées, comme *Aristida* sp., recouvertes de 10 cm de terre dans une tranchée profonde de 20 cm avec des aérations tous les m. Il est réalisé directement dans la jachère après sa fauche, sur sol ferrallitique, ou après labour suivant des cultures vivrières en sol volcanique. Différentes fréquences (2 ans, 4 ans, une seule fois non

renouvelée) sont comparées avec 2 doses de combustibles (20 ou 60 t.ha⁻¹ d'*Aristida sp.*, avec 90 % d.m.) à un traitement en S.C.V. sans écobuage. Les effets sont évalués dans une rotation soja-riz pluvial par rapport à 4 fumures modulées selon le type de sol et la culture (tableau 1).

Tableau 1 : Apports annuels de fumier ou d'éléments fertilisants, en kg.ha⁻¹ (sous forme d'urée, phosphate d'ammoniaque, KCl et dolomie)

Traitement	Fumure de base au semis		Complément sur riz (semis, 25 et 60 jours après)
	Sol volcanique	Sol ferrallitique	
F ₀ : Sans fumure	Rien		
F ₁ : Fumier seul	Fumier de bovin : 5 000		
F ₂ : Fumier + fumure minérale conseillée	F1 + 20N – 50 P ₂ O ₅ – 30 K ₂ O – 180 CaO	F1 + 30N – 70 P ₂ O ₅ – 50 K ₂ O – 180 CaO	50 N
F ₃ : Fumier + fumure minérale forte (non limitante)	F1 + 40N – 90 P ₂ O ₅ – 100 K ₂ O – 720 CaO tous les 3 ans	F1 + 50N – 140 P ₂ O ₅ – 100 K ₂ O – 720 CaO tous les 3 ans	90 N

Les dispositifs conçus comme des essais factoriels à l'origine, combinant fumures et doses de combustible, évoluent en split-plot à partir de la troisième année, les parcelles écobuées étant subdivisées en fonction des fréquences.

4. Résultats

En première année, l'effet de l'écobuage est spectaculaire et conduit à une production de riz pluvial équivalente à celle que procure une forte fumure minérale, inaccessible financièrement aux agriculteurs. Le gain de rendement dépasse 1 t.ha⁻¹ en sol volcanique, sans interaction avec le niveau de fumure, et indépendamment de la dose de combustible, contrairement au sol ferrallitique. Le supplément atteint alors 3 t.ha⁻¹ avec une forte dose de paille. L'écobuage peut-être répété, mais avec une fréquence qui dépend du type de sol :

- sur sol volcanique, riche en matière organique (M.O. 10 %), son renouvellement tous les 2 ou 4 ans améliore la production de 2 t.ha⁻¹, quelle que soit la fertilisation
- sur sol ferrallitique plus pauvre (M.O. 5 %), un nouvel écobuage n'a pas d'effet sur le rendement et s'avère dépressif avec les doses élevées de combustible et de fumure (Michellon et al, 2004).

Avec une gestion appropriée, des productions de plus de 5 t.ha⁻¹ peuvent être obtenues et maintenues sans fertilisation minérale sur sol volcanique.

5. Conclusion

Au cours de l'écobuage, les températures qui restent modérées par manque d'oxygène (Nzila, 1992), provoquent une transformation du sol tout en conservant ses éléments fertilisants. Il entraîne une augmentation de pH, de C.E.C., des bases échangeables (Ca, Mg, K) et du phosphore assimilable (Seguy, 1994 ; Michellon et al, 2004)

Cette technique présente un arrière-effet durable surtout en sol volcanique. Sa fréquence doit cependant rester limitée lorsque le taux de M.O. est faible, car elle provoque sa destruction. Pour y remédier, il faut l'associer à une technique qui favorise un enrichissement rapide, comme les SCV.

Les agriculteurs malgaches ont adopté cette pratique dans plusieurs régions, valorisant les combustibles disponibles : balle de riz, *Acacia meamsii*,..., aux effets comparables (Michellon et al, 2001). Au lac ALaotra, ils l'utilisent pour cultiver du riz pluvial sur sol dégradé, tandis que sur les Hautes-Terres ils l'emploient en priorité sur pomme de terre, (suivie d'une avoine et du riz en S.C.V. l'année suivante), et obtiennent des rendements élevés atteignant 25 t.ha⁻¹ sur sol ferrallitique avec une fumure minérale.

6. Références

Chabanne A, Seguy L, Razakamiamanana (1996). Gestion de la fertilité des rizières d'altitude à Madagascar, exemple de la plaine de Vinaninony (1875 m). In Actes du séminaire riziculture d'altitude pp. 187-196, 29 mars-05 avril 1996. Antananarivo Madagascar. Eds Poisson C, Rakotoarisoa J 1997 CIRAD Montpellier 272 p.

Michellon R, Razanamparany C, Moussa N, Andrianasolo H, Fara Hanitriniaina JC, Razakamanatoanina R, Rakotovasaha L, Randrianaivo S, Rakotaniaina F, (2004). Projet d'appui à la diffusion des techniques agro-écologique à Madagascar. Rapport de campagne 2002-2003. Hautes-Terres et Moyen Ouest . Financement AFD-FFEM-CIRAD-MAEP. GSDM,TAFA, 98 p.

Michellon R, Seguy L, Razakamiamanana and Randriamanantsoa R, (2001) . Direct seeding on plant cover with « soil smouldering » techniques. *Conservation agriculture, a worldwide challenge*. First World Congress Agriculture. 2001/10/01-05, Madrid, Spain, Vol II. Eds Garcia-Torres L., Benites J., Martinez-Vilela A. XUL Cordoba Spain p. 45-50.

Nzila JP (1992). La pratique de l'écobuage dans la vallée du Niari (Congo). Ses conséquences sur l'évolution d'un sol ferrallitique acide. Document ORSTOM n°7 Montpellier 190 p.

Seguy L, (1974). Influence de la technique de l'écobuage sur les rendements de maïs et sur les propriétés physicochimiques des sols. O.N.A.R.E.S.T IRAT/CVT – Rapport de synthèse sur les cultures vivrières- Cameroun, p 44-47.

Dynamique et valorisation de l'azote dans les systèmes de culture en semis direct avec couverture végétale (SCV) des Cerrados Brésiliens.

Eric SCOPEL¹, Alexandra MALTAS², Marc CORBEELS³, Fernando Antonio MACENA DA SILVA⁴, François AFFHOLDER², Jean-Marie DOUZET⁵, Robert OLIVER⁶, Noémie SCHALLER², Alexandre CARDOSO⁴

1. Introduction

Dans les conditions tropicales humides à sub-humides, la gestion de l'azote peut souvent devenir limitante pour la durabilité de la production agricole. En effet, les taux élevés de minéralisation de la matière organique associés à de fortes pluviométries peuvent amener à une diminution rapide des stocks de N total. Dans le contexte des Cerrados, des systèmes de culture basés sur la suppression du travail du sol et le maintien d'une couverture végétale protégeant de façon permanente le sol (SCV) ont été introduits afin de limiter l'érosion des sols. Toutefois, la présence d'un mulch végétal et l'introduction de plantes de couverture peuvent modifier la dynamique de l'azote, tant sur le long que sur le court terme. Une étude spécifique était donc nécessaire pour étudier ces effets, ceci afin de mieux gérer l'azote dans ces systèmes et d'assurer la durabilité de la production avec ces derniers.

2. Evolution des stocks de N total et de l'offre en N minéral sous SCV dans les Cerrados

Une étude a été menée dans la région de Rio Verde dans le sud de l'état du Goiás, région où ces systèmes sont appliqués par certains producteurs depuis plus de 15 ans (Maltas, 2007). Elle a porté sur une chronoséquence de parcelles en SCV (2-6-9 et 14 ans d'application). Les sols de l'ensemble de ces parcelles étaient de nature (sols ferralitiques rouge-jaune) et de texture (entre 53 et 62 % d'argiles + limons) totalement similaires. Une analyse synchronique des stocks de ces différentes parcelles a permis de mettre en évidence une évolution positive des stocks d'azote total correspondant à un taux de stockage de 83 kg de N ha⁻¹ an⁻¹ (Figure 1a). Le N total accumulé se répartit pour 74 % dans la couche 0-10 cm et pour 26 % dans la couche 10-20 cm. L'importance de ce stockage souligne le rôle déterminant de la plante de couverture qui permet de par la biomasse additionnelle qu'elle pourvoit de compenser les pertes dues à la minéralisation. Cet accroissement des stocks totaux s'accompagne également d'une amélioration des quantités de N minéralisé pour la culture principale. Une étude de minéralisation *in situ* (Maltas, 2007) a en effet démontré que l'on peut avoir un supplément de l'ordre de 2 kg de N ha⁻¹ minéralisé durant les 120 jours du cycle d'un maïs par année d'application du système SCV (Figure 1b). Cette quantité n'est pas négligeable mais reste limitée devant les autres parties du bilan azoté. En effet même après dix ans en SCV ce supplément de N minéral ne représenterait que 20 à 30 % du total de N minéralisé durant la culture de maïs et moins de 20 % de l'azote apporté par fertilisation par les producteurs de la région.

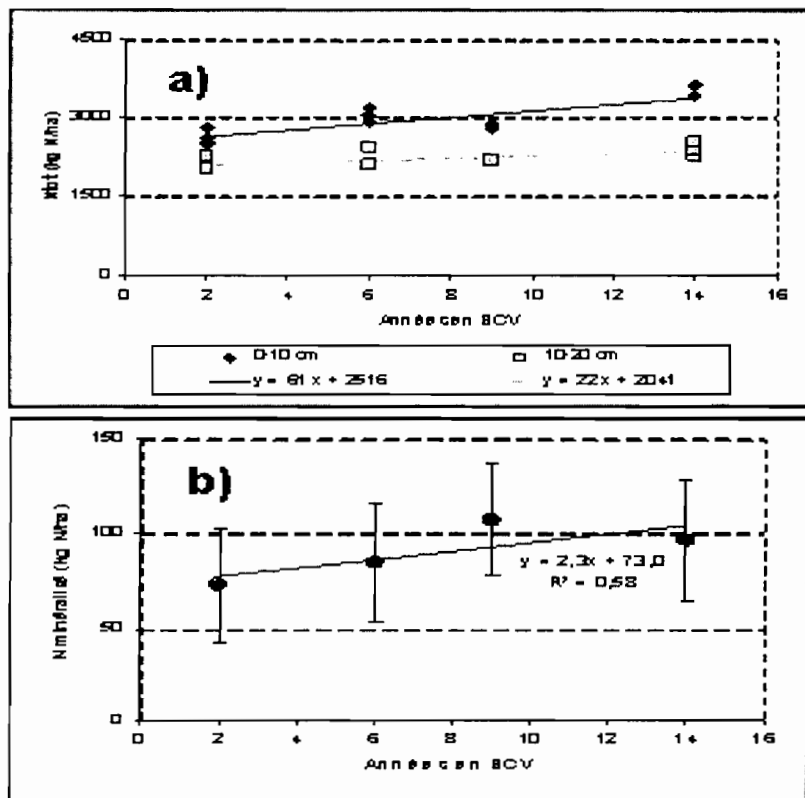


Figure 1 : Effet du nombre d'année en SCV sur a) l'évolution du stock total de N et b) sur la quantité de N minéralisée durant les 120 j du cycle du maïs sur une chronoséquence de la région de Rio Verde dans les Cerrados du Brésil.

3. Recyclage de l'azote sous SCV dans les Cerrados

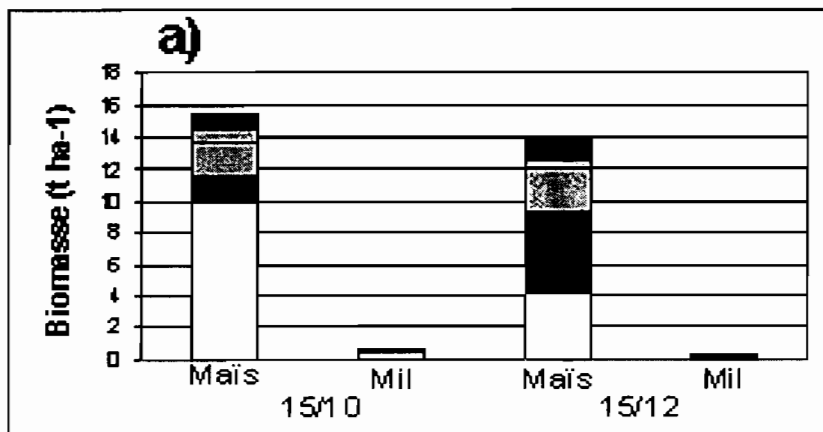
Le fait d'introduire une plante de couverture avant ou après la plante commerciale, à un moment où la pluviométrie permet encore la croissance d'une culture, est très important pour utiliser l'azote minéral libéré durant cette période. En effet des travaux réalisés dans les Cerrados sur des SCV maïs avec différentes plantes de couverture ont montré que l'on pouvait dans certains cas éviter la lixiviation de plus de 100 kg de N.ha⁻¹.an⁻¹. Parfois cela peut représenter 25 à 50 % du total de N lixivié sur l'ensemble de la saison des pluies (Maltas 2007). L'absence de consommation par une plante de couverture se traduit par une forte présence de N minéral au début du cycle de la culture principale. Une bonne partie de cet azote est alors perdue par lixiviation suite aux importants flux hydriques de drainage et à la consommation encore faible de la plante commerciale à son démarrage comme le confirment Reyes et al. (2002) pour un système riz/Brachiaria-Sorgho en SCV.

Par la suite la minéralisation des résidus de la plante de couverture est relativement lente et limitée de par leur localisation en surface. Selon l'étude réalisée par Maltas (2007), testant différents types de résidus, uniquement 20 à 40 % de l'azote total qu'ils contiennent est alors libéré pour la culture suivante. Il n'y a pas d'immobilisation notable en début de cycle et la minéralisation est régulière au cours du cycle agricole.

Ainsi, bien que les quantités soient uniquement de l'ordre de 10 à 20 kg N ha⁻¹, elles peuvent avoir malgré tout un effet significatif sur la productivité du maïs semé ultérieurement.

4. Limitations dans le contexte de l'agriculture familiale

Les petits producteurs de la région des Cerrados ont moins de possibilité de recours à des fertilisants chimiques et leurs niveaux de productivité restent généralement beaucoup plus faibles. Dans ce contexte, il leur est beaucoup plus difficile de maintenir les stocks de N total sur le long terme, même avec l'utilisation de plantes de couverture. Shaller (2007) a montré que, pour une succession Maïs/Mil sur des sols ferrallitiques similaires, le mil se retrouve souvent limité par l'eau et surtout par la disponibilité en N minéral. La durabilité du système est alors menacée de par la perte systématique d'une partie du N minéral disponible durant le cycle du maïs et le non remplacement du N total du sol. Le bilan reste alors négatif et l'introduction de N devient nécessaire, soit en subventionnant les engrais chimiques pour ces producteurs, soit en ayant recours systématiquement à des légumineuses comme plantes de couverture.



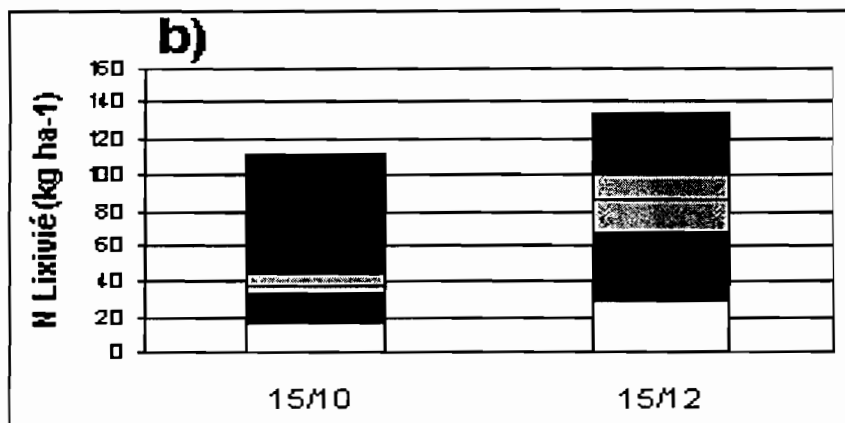


Figure 2 : étude fréquentielle sur 10 ans de a) la biomasse totale produite et b) l'azote lixivié durant la saison des pluies dans une succession maïs/mil sur sols ferrallitiques argileux pour deux dates de semis du maïs chez des petits producteurs des Cerrados brésiliens. Les limites extrêmes des barres noires représentent le minimum et maximum absolus, les limites des barres grises les valeurs ayant de 25 à 75% de chance d'apparaître.

5. Références :

- Maltas A. 2007. Analyse par expérimentation et modélisation de la dynamique de l'azote dans les systèmes sous semis direct avec couverture végétale des Cerrados brésiliens. Doctorat de l'Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie de Montpellier (ENSA), 194 p. + Annexes.
- Reyes Gomez V., Findeling A., Marlet S., Oliver R., Maraun F., Alves Moreira J.A., Douzet J.M., Scopel E., Recous S., 2002. Influence of no-tillage and cover plants on water and nitrogen dynamics in the Cerrados (Brazil). XVII World Congress of Soil Science, Bangkok, Thailand, September, 2002. Poster with extended publication.
- Schaller N. 2007. Dynamiques de l'eau et de l'azote dans les systèmes de culture en semis direct sous couvert végétal chez les petits producteurs de l'agriculture familiale : Cas des Cerrados brésiliens. Rapport de DAG, INA-PG, 48 p. + Annexes.

Bilan des apports et des exportations de phosphore dans des sols Malgaches cultivés selon deux systèmes de culture, l'un avec semis direct sur couvert végétal et l'autre avec labour

Harilala ANDRIAMANIRAKA^{1*}, Lilia RABEHARISOA², Roger MICHELLON³, Narcisse MOUSSA⁴, Christian MOREL⁵

¹ Université d'Antananarivo, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, Département Agriculture, BP 175 Ankatso 101 Antananarivo, Madagascar, j_harilala@yahoo.fr ou handnam@bordeaux.inra.fr

² Université d'Antananarivo, Laboratoire des Radio Isotopes, Service de la Radioagronomie, BP 3383, Route d'Andraisoro, 101 Antananarivo, Madagascar, lrabehar@refer.mg

³ CIRAD/ONG Tafa, BP 266, 110 Antsirabe, Madagascar, michellon@cirad.mg

⁴ ONG Tafa, BP 266, 110 Antsirabe, Madagascar

⁵ UMR INRA-ENITAB Transfert sol-plante et Cycle des Eléments Minéraux dans les écosystèmes cultivés (TCM), BP 81, 33883 Villenave-d'Ornon cedex, France, morel@bordeaux.inra.fr

1. Introduction

Madagascar est une île-continent de 581 000 km² avec 17 millions d'habitants dont les ¾ sont impliqués dans une activité agricole essentiellement manuelle. La surface agricole utile n'est actuellement que d'environ 3,5 millions d'hectares et la production agricole est loin de couvrir les besoins alimentaires de la population. La région des Hautes Terres, localisée autour de la capitale Antananarivo, possède de larges superficies encore peu valorisées pour l'agriculture. Si les fonds de vallée sont déjà largement occupés et cultivés principalement en riz inondé, les versants des collines, appelées « tanety », sont encore très peu exploités et constituent un gisement important de surfaces cultivables qui permettrait d'augmenter significativement le potentiel de la production agricole de Madagascar.

Des chercheurs du CIRAD et leurs partenaires ont proposé et étudié depuis plusieurs années des systèmes de cultures avec semis direct sur couverture végétale (SCV) conçus pour augmenter et maintenir la productivité de ces sols tout en les protégeant afin de minimiser les pertes par érosion des nutriments (Séguy et al., 2006 ; Husson et al., 2006).

Les facteurs susceptibles de limiter la production agricole naturelle de ces écosystèmes sont probablement multiples. Mais le phosphore est souvent désigné comme un facteur clé de l'amélioration de la fertilité de ces sols et nombreuses études mentionnent des gains importants de productivité obtenus des systèmes de culture incluant des apports de phosphore, même modérés (Oberson et al., 1996).

L'objectif de cet article est de présenter les différents flux impliqués dans le cycle du phosphore afin de calculer et comparer le bilan annuel et cumulé de P en fonction des différents systèmes de culture.

2. Matériels et méthodes

Les dispositifs utilisés sont les dispositifs d'Andranomanelatra, de Bemasoandro (les deux sur un sol ferrallitique argileux) et de Betafo (sur une zone de volcanisme récent) qui ont été mis en place et suivis par l'ONG TAFE avec l'appui du CIRAD, depuis de nombreuses années. De plus, ces dispositifs ont été récemment étudiés par Razafimbelo (2005) sur le thème de l'effet du système de cultures sur le stockage de carbone dans le sol.

Les dispositifs expérimentaux comprennent de nombreux systèmes de culture incluant le mode de préparation et de semis des sols (Semis direct ou Labour : Lb), des niveaux et des types de fertilisations variables (F1 : fumier de ferme et F2 : fumier de ferme+engrais minéraux+dolomie) ainsi que de nombreuses variantes de couverture végétale. Dans le cadre de ce travail nous avons sélectionné quatre traitements (SCV_F2, SCV_F1, Lb_F2 et Lb_F1) présents dans les trois dispositifs.

Pour la détermination du bilan de phosphore à l'échelle de la parcelle cultivée, une méthode de calcul du bilan de phosphore implique le suivi des flux d'entrées de P dans la parcelle (fertilisants organiques ou minéraux) et des flux de sorties de P sous forme de produits récoltés (grain, tige, feuille, gousses...) ou de pertes vers l'environnement.

L'effet du système de culture sur le rendement annuel et cumulé ainsi que sur le bilan annuel et cumulé ont été analysés statistiquement par une analyse de variance à deux facteurs (SCV et Lb) et deux modalités de fertilisation (F1 et F2). Les écarts sont considérés comme significatifs sur un seuil de probabilité inférieur à 0.05.

3. Résultats

Tableau 1 : Moyenne et écart type (n=3) du rendement en grains ($t\ ha^{-1}$) cumulés pour les différents traitements.

Traitement	Andranomanelatra		Bemasoandro		Betafo	
	$t\ ha^{-1}$	$\Delta\%$ SCV_F1	$t\ ha^{-1}$	$\Delta\%$ SCV_F1	$t\ ha^{-1}$	$\Delta\%$ SCV_F1
SCV_F1	14.7 (± 1.0) b	0%	3.8 (± 0.9) c	0%	8.0 (± 0.5) b	0%
SCV_F2	24.7 (± 1.9) a	+68%	12.1 (± 0.6) a	+222%	12.3 (± 2.1) a	+54%
Lb_F1	7.2 (± 2.2) c	-51%	2.2 (± 1.5) c	-43%	7.3	-10%
Lb_F2	13.1 (± 0.7) b	-11%	9.8 (± 0.9) b	+160%	11.2	+40%

Tableau 2 : Moyenne et écart type (n=3) du bilan cumulé de P ($kg\ P\ ha^{-1}$) pour les différents traitements

Traitement	Andranomanelatra	Bemasoandro	Betafo
SCV_F1	8.9 (± 2.8) c	21.7 (± 2.2) b	3.3 (± 2.1) b
SCV_F2	217.5 (± 4.1) b	145.8 (± 1.2) a	87.4 (± 6.6) a
Lb_F1	22.7 (± 7.2) c	22.9 (± 5.1) b	0.7
Lb_F2	236.5 (± 3.1) a	142.6 (± 2.1) a	81.3

Les valeurs cumulées ont été obtenues en sommant les récoltes obtenues de 1996 à 2003 pour le dispositif d'Andranomanelatra et de 1999 à 2003 pour Bemasoandro et Betafo.

Pour les trois dispositifs, le bilan cumulé de P est toujours positif mais diffère significativement entre les deux régimes de fertilisation : la modalité F1 permet d'obtenir des bilans cumulés de P légèrement positif, alors que pour F2 le bilan cumulé de P est très excédentaire puisque le surplus de P apporté est très supérieur au surplus de P exporté dans le gain de rendement.

L'effet du système de culture n'est significatif que dans une seule situation : le régime F2 du système SCV dans le dispositif Andranomanelatra qui est le plus ancien.

4. Conclusion

Le bilan de P, cumulé sur la période d'expérimentation, varie d'un facteur proche de 10 à 20 avec le régime de fertilisation mais n'est que peu affecté par les systèmes SCV ou labour. L'effet du système SCV n'est vraiment remarquable qu'après plusieurs années de son installation, c'est le cas du dispositif d'Andranomanelatra par rapport aux deux autres qui sont plus récents.

5. Références bibliographiques

- Husson, O., L. Séguy, R. Michellon and S. Boulakia, 2006. Restoration of acid soil systems through agroecological management. Pp. 343-356. In: Biological approaches to sustainable soil systems. Ed. N. Uphoff et al. CRC Taylor & Francis.
- Oberson A., 2006. . In: Biological approaches to sustainable soil systems. Ed. N. Uphoff et al. CRC Taylor & Francis.
- L. Séguy, S. Bouzinac and O. Husson, 2006. Direct-seeded tropical soil systems with permanent soil cover. Pp. 323-342. In: Biological approaches to sustainable soil systems. Ed. N. Uphoff et al. CRC Taylor & Francis.
- Michellon R., Razanapary C., Moussa N., Andrianasolo H., Fara Hanitriniaina J. C., Razakamanantoanina R., Rakotovazaha L., Randrianaivo S., Rakotoniaina F., 2004. Rapport de campagne 2002-2003 Hautes Terres et Moyen Ouest, 98p
- Morel C., 2002. Caractérisation de la phytodisponibilité du phosphore du sol par la modélisation du transfert des ions phosphates entre le sol et la solution. HDR, 80p
- Rabeharisoa L., 2004. Gestion de la fertilité et de la fertilisation phosphatée des sols ferrallitiques des hautes terres de Madagascar. Thèse de Doctorat de l'Université D'Antananarivo, Spécialité : science du sol. 202p.
- Razafimbelo T., 2005. Stockage et protection du carbone dans un sol ferrallitique sous systèmes en semis direct avec couverture végétale des hautes terres malgaches. Thèse de Doctorat en Science du Sol de l'ENSAM, 123p.

Dynamique et offre d'azote minéral des sols ferrallitiques sur alluvions volcano-lacustres de la région du Vakinankaratra des Hauts Plateaux Malgaches, en semis direct sous couverture végétale.

Jacqueline RAKOTOARISOA ¹, Eric SCOPEL ², Robert OLIVER ³, Julie DUSSERE ⁴, Bertrand MULLER ⁵, Jean Marie DOUZET ⁴, Roger MICHELLON ⁶, Narcisse MOUSSA ⁶, Lala Aimée RAZAFINJARA ⁷, Jemisa RAROJOSON ⁸

¹ FOFIFA-Unité de Recherche en Partenariat sur les Systèmes de Culture et Rizicultures Durables, Département de Recherche Rizicole, BP 1690 Antananarivo 101 Madagascar j.rakotoarisoa@cirad.mg

² Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement-CIRAD, Département PERSYST, UMR SYSTEM, Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, Brésil

³ Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement-CIRAD, Département PERSYST, UPR RELIER, Avenue Agropolis, 34398 cedex 5, Montpellier France

⁴ Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement- CIRAD, Département PERSYST- Unité de Recherche en Partenariat sur les Systèmes de Culture et Rizicultures Durables, BP 230 Antsirabe 110 Madagascar

⁵ Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement- CIRAD, Département BIOS, CERAAS-ISRA HP Sénégal

⁶ ONG Tafa, Tany sy Fampandrosoana BP 266 Antsirabe 110 Madagascar

⁷ FOFIFA-Direction Générale BP 1690 Antananarivo 101 Madagascar

⁸ FOFIFA-Département de Recherche Rizicole, Laboratoire de Pédologie BP 1690 Antananarivo 101 Madagascar

1. Introduction

Dans la région du Vakinankaratra et plus particulièrement sur les sols ferrallitiques sur alluvions volcano-lacustres d'Andranomanelatra, une étude de la dynamique et de l'offre en azote minéral a été conduite sur des systèmes en SCV, dans le but d'explorer la capacité des SCV à améliorer le statut organique des sols et en se fixant comme objectif d'optimiser la fertilisation du riz pluvial en SCV, à partir de l'offre en azote du sol.

2. Méthodologie

Pour ce faire, nous avons considéré une succession culturale bisannuelle, **Maïs+soja/ riz dénommé R4** où les résidus de maïs et du soja sont utilisés comme couverture morte, sur laquelle, l'année suivante, le riz est implanté. Au sein de ce système, on distingue 2 modes de gestion de sol (**SCV ou labour**) et également 2 niveaux de fertilisation (**F0 ou FM**). Nous avons également comparé 2 situations : la première représentée par le dispositif de l'URP SCRiD où les modes de gestion du sol datent de 4 ans et la seconde, celle du site de référence de Tafa où ils datent de 12 ans.

En ces situations, l'étude consiste à quantifier l'offre réelle en azote minéral disponible dans le sol, à évaluer la demande de la plante et l'efficacité de la nutrition azotée pour arriver à confronter l'offre et la demande.

3. Résultats et discussion

Sur la caractérisation de l'offre en azote minéral dans le profil cultural : les graphiques de la figure 1 de la page suivante, montrent que : i- Qu'en toute période et indépendamment des modes de gestion de sol et de leur âge, les horizons de surface du riz pluvial en SCV, présentent une teneur en N min variant de 10 à 80 mg/kg de sol contre 10 à 50 mg/kg pour le labour récent et 10 à 30 mg/kg de sol pour le labour ancien. Ainsi, quel que soit l'âge des dispositifs, les horizons de surface des systèmes en **semis direct sous couverture végétale** (SD), sont mieux pourvus en N minéral que ceux des systèmes en **labour** (Lab.) Le SD améliore ainsi le statut azoté des systèmes ; ii-les horizons de surface du système en **labour** (Lab.) du dispositif vieux de 12 ans sont plus dépourvus en N minéral que ceux du système en **labour** (Lab.) du dispositif de 4 ans. Le Lab. répété dans le temps, dégrade ainsi le statut azoté du système. iii-En revanche, dans les zones de profondeur, à 150 cm, la teneur en azote est plus importante, pouvant atteindre suivant les cas jusqu'à 90 à 100mg/kg de sol. Cette capacité de rétention de l'azote en profondeur, est en rapport avec la composition minéralogique du type de sol du lieu d'étude, très nettement argileuse (cf. tableau ci-dessous) et de son appartenance à l'un des ordres de sol, présentant, dans une gamme de pH acide, de charges de surface électropositives développées par les oxydes et hydroxydes de Fe et Al. La détermination de la capacité d'échange cationique (CEC) et anionique (AEC) selon Zelazny, Liming et VanWormhout, dans une gamme de pH et celle du coefficient de partage entre la phase solide et la phase liquide du sol, méritent d'être étudiés pour permettre de comprendre la façon dont les nitrates est retenue.

Tableau 1 : Caractéristiques analytiques moyennes (M) et écart type (E.T.) de trois couches de terre de la parcelle « essai systèmes de culture du riz pluvial » à Andranomanelatra (Hautes terres malgaches)

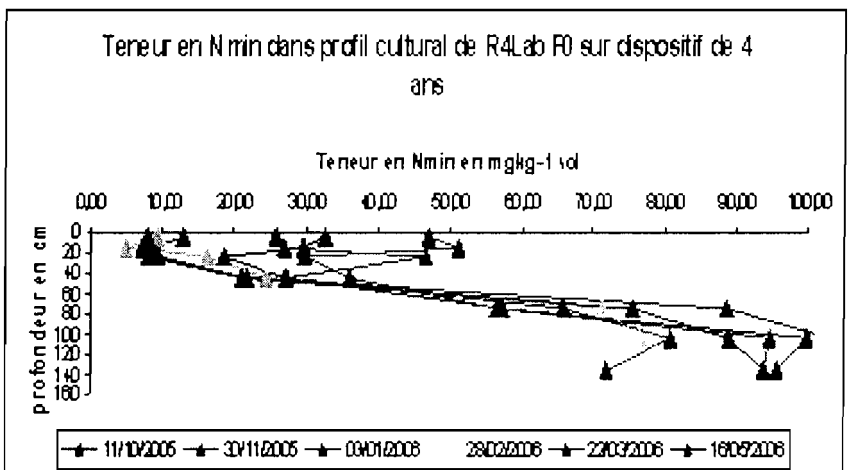
Profondeur	(cm)	0-10		30-60		90-120	
		M	E.T.	M	E.T.	M	E.T.
Analyse granulométrique (% matière minérale)							
argiles	%	59.4	4.70	72.0	7.31	70.7	2.91
limons	%	27.5	3.11	15.2	3.65	15.4	0.96
sables	%	13.1	1.90	12.1	4.24	13.9	2.07

4. Conclusion

En toute période, les horizons de surface des systèmes de culture installés en sol ferrallitiques sur alluvions volcano-lacustres d'Andranomanelatra, de la région du Vakinankaratra, présentent une offre moindre en azote minéral que les horizons de profondeur, quels que soient des modes de gestion de sol et de leur âge. La concentration de l'azote en profondeur est liée à sa composition granulométrique à dominance argileuse et son appartenance aux ordres des sols andiques à charges variables. Le SD enrichit le sol en matière organique et corrélativement en azote minéral. En revanche, le labour répété dans le temps, l'appauvrit en matière organique et par voie de conséquence en azote.

5. Références :

- Azontonde Hessou Anastase (2000). Dynamique de la matière organique et de l'azote dans le système Mucuna-Maïs sur un sol ferrallitique (Terres de Barre) au Sud Bénin. Thèse de doctorat. Ministère de l'Agriculture - Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier - Institut de Recherche pour le Développement - Institut National des Recherches Agricoles du Bénin p 71-171
- E. Scopel et coll.(2005)- Impacts des systèmes de culture en semis direct avec couverture végétale(SCV) sur la dynamique de l'eau, de l'azote minéral et du carbone du sol dans les Cerrados brésiliens-Cahiers d'Agriculture vol.14, n°1, p71-75
- V.Reyes Gomez (2002) Quantification et modélisation des flux hydriques, techniques et azotés dans les systèmes de culture en semis direct avec couverture végétale dans la région des Cerrados brésiliens. Thèse de doctorat Montpellier, France Université des Sciences et Techniques du Languedoc, 203p



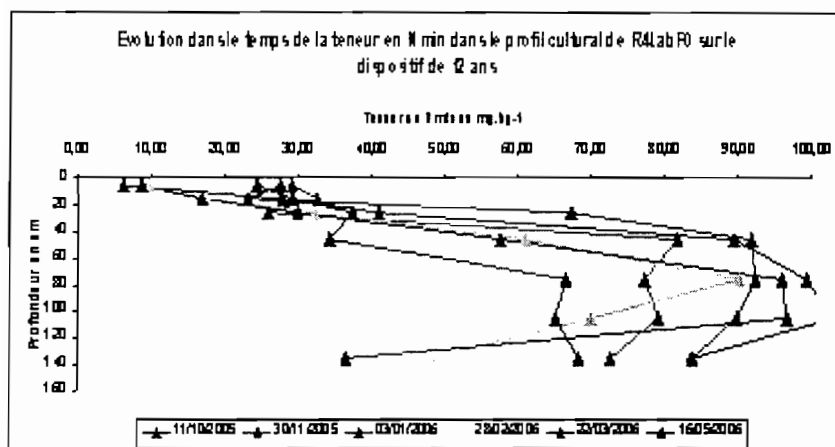
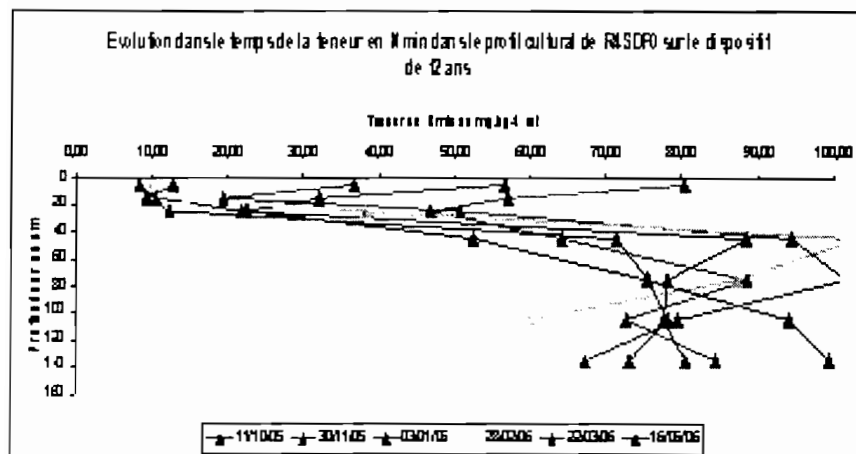


Figure1 : Dynamique dans le temps de la teneur en azote minéral dans le profil cultural des systèmes de culture se différenciant par leur mode de gestion du sol et leur âge.

Evaluation du potentiel infectieux mycorrhizogène du sol en semis direct du dispositif d'Andranomanelatra de l'ONG TAFA Antsirabe

Berthe RASOAMAMPIONONA^{1,2}, Lilia RABEHARISOA², Alice ANDRIANJAKA¹, Roger MICHELLON^{3,4}, Narcisse MOUSSA³, Tantely RAZAFIMBELO², Christian PLENCHETTE⁵.

¹ Université d'Antananarivo, Faculté des Sciences, Département de Biologie et Ecologie Végétales, Laboratoire de Physiologie Végétale, BP 906 Antananarivo 101, Madagascar

² Université d'Antananarivo, Laboratoire de Radio Isotopes, Service de Radioagronomie Ampandrianomby, BP 3383 Antananarivo 101, Madagascar

³ ONG TAFA, BP 266, 110 Antsirabe Madagascar.

⁴ CIRAD, Ampandrianomby, BP 853, 101 Antananarivo, Madagascar.

⁵ INRA, UMR Biologie et Gestion des Adventices, 17 rue Sully, 21065 Dijon cedex France. E-mail : brasoamam@yahoo.fr

1. Introduction

Sur les Hautes Terres de Madagascar, le rendement agricole est faible du fait de la dégradation de la fertilité du sol. En l'absence d'amendement calco-magnésien, de fertilisation organique et minérale, la production en graines du maïs et du soja est nulle dans un sol ferrallitique (Rabeharisoa et Rasoamampionona, 2001). La teneur en phosphore (P) soluble est basse (0.016mgL^{-1}) (Rabeharisoa, 2004). Il a été démontré que les mycorhizes (association symbiotique champignon/racine) sont particulièrement efficaces pour la nutrition phosphatée des plantes dans les sols dont les teneurs en phosphore biodisponible sont très faibles (Plenchette et al. 1988) ou à fort pouvoir fixateur ; ce qui est le cas de ce sol ferrallitique. Actuellement, l'agriculture s'oriente vers des systèmes de cultures plus durables en tenant compte des aspects écologiques et biologiques du sol. Les champignons mycorhiziens à arbuscules (MA) présents naturellement dans les agroécosystèmes apparaissent de plus en plus comme des organismes à prendre en considération. En effet on trouve chez la majorité des plantes cultivées les mycorhizes à arbuscules résultant de l'association symbiotique de champignons microscopiques avec les racines des plantes. Cette symbiose est bénéfique pour les deux partenaires. Les mycorhizes MA stimulent la croissance de la plante en améliorant la nutrition minérale et l'absorption de l'eau. Elles jouent aussi un rôle dans la stabilité des agrégats et la protection contre certains agents pathogènes telluriques. Réciproquement les champignons MA reçoivent de la plante les produits de la photosynthèse (Smith et Read, 1997). Le potentiel infectieux mycorrhizogène (PIM) d'un sol représente non seulement la population de champignons mycorhiziens présents dans le sol sous forme de spores, de mycélium et de morceaux de mycorhizes, mais aussi la capacité de cette population à former des mycorhizes dans les conditions données. Les pratiques culturales peuvent influencer le PIM (l'application d'engrais et de pesticides, le labour du sol, la jachère et la rotation des cultures).

L'objectif de ce travail est d'évaluer le PIM du sol d'Andranomanelatra dans les petites exploitations paysannes pratiquant la polyculture et le labour, dans la jachère d'une part et d'autre part de montrer les avantages du semis direct sur le PIM et la production du soja par rapport au labour dans le dispositif d'Andranomanelatra de l'ONG Tafa à Antsirabe (âgé de plus de dix ans) à un niveau de fertilisation donné et dans la rotation de cultures maïs/soja.

2. Méthode et matériels

L'estimation du PIM du sol se fait par la mesure du taux de colonisation racinaire par la méthode gridline-intersect (Giovannetti et Mosse, 1980) après traitement des racines des plantes au KOH 10% et coloration à la fuchsine acide. La même technique est utilisée dans le sol provenant des parcelles du dispositif d'Andranomanelatra de l'ONG Tafa mais le comptage se fait au niveau des racines de soja, une plante test très mycotrophe cultivée dans des pots contenant le sol de différentes parcelles. Le sol a été inoculé avec du *Bradyrhizobium japonicum* avant de semer une graine par pot. Six traitements ont été choisis : A F1 SD soja, A F2 SD soja, A F2 Lb maïs, A F2 Lb soja, A F1Lb soja et A F1 Lb maïs.

A= Andranomanelatra, SD= Semis Direct, Lb= Labour, F1= fumier 5T/Ha/an, F2= fumier 5T/Ha + fertilisation minérale conseillée/an ; Soja et maïs= précédents culturaux

Les données ont été soumises à une analyse des variances (ANOVA) avec le S.A.S (version 9.8). Les moyennes sont comparées entre elles par le test LSD (Least significant difference).

3. Résultats

1) Tableau 1: Colonisation (CMA%) des plantes dans des parcelles paysans et de jachère à Andranomanelatra.

- (=0%), + (<5%), ++ (5-25%), +++ (25-50%), ++++ (50-75%), +++++ (>75%)

Plantes cultivées	Nom français	Colonisation CMA
<i>Glycine max</i>	soja	-
<i>Ipomea batatae</i>	patate douce	-
<i>Malus malus</i>	pommier	-
<i>Oryza sativa</i>	riz	-
<i>Zea mays</i>	maïs	+
<i>Crotalaria sp</i>	amberivatry	+
<i>Desmodium sp</i>	mandalodiaraititra	+
<i>Aristida sp</i>	bozaka	-

2) Tableau 2 : Colonisation (CMA%), croissance, teneur en P et N du soja cultivé sur des sols des parcelles ONG TAFA.

Traitement	MST A (g)	MS gr (g)	CMA (%)	P/pl (mg)	N/pl (mg)
AF1SDsoj	2,50c	1,39c	51,89a	6,08c	100,47c
AF2SDsoj	4,58a	2,39a	63,98a	13,77a	156,17a
AF2Lbmaï	2,86c	1,53c	37,27b	8,12b	105,31c
AF2Lbsoj	3,55b	1,83b	27,62bc	8,78b	117,64b
AF1Lbsoj	1,86d	1,01d	17,38c	5,47c	67,22d
AF1Lbmaï	1,86d	1,04d	17,67c	5,92c	74,02d
Moyenne	2,87	1,53	35,97	8,02	103,47
P	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Cv	11,71	9,19	30,93	9,46	6,80
LSD	0,44	0,18	14,52	0,99	9,19

Dans une colonne les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes (LSD, $p < 0,05$).

MST A=MS totale aérienne MS gr=MS graine ; CMA= champignon mycorhizien à arbuscules ; P/pl= quantité de phosphore par plante ; N/pl=quantité d'azote par plante.

4. Conclusion

Dans les parcelles des paysans et les jachères, la colonisation des plantes est absente ou très faible (<5%) ce qui note un très faible potentiel mycorhizogène du sol. Dans le dispositif de TAFA, le semis direct améliore la colonisation et donc le PIM. Le labour valorise mieux la fertilisation F2 que ce soit pour le soja ou le maïs. Le semis direct et le précédent cultural soja augmentent le rendement d'une façon significative.

5. Références bibliographiques

- Giovannetti, M. et Mosse, B. 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytologist*, 84:489-500
- Rabearisoa, L. et Rasoamampionona B. 2001. Effet cumulatif du fumier et de l'hyper-barren sur la disponibilité du phosphore dans un sol ferrallitique des Hautes Terres de Madagascar. Communication aux journées de la Recherche du Ministère de l'Enseignement Supérieur Mahajanga/Madagascar 28 au 30 octobre, Site Web du MINESUP, 10p
- Rabearisoa, L. 2004. Gestion de la fertilité et de la fertilisation phosphatée des sols ferrallitiques des Hautes Terres de Madagascar. Thèse de Doctorat d'Etat es Sciences Naturelles, Département de Biologie et Ecologie Végétales, Faculté des Sciences Université d'Antananarivo. 213p
- Plenchette, C. et Fardeau, J.C. 1988. Effet du pouvoir fixateur du sol sur le prélèvement de phosphore du sol par les racines et les mycorhizes. *C. R. Acad. Sci. Paris Série III*. 201-206.
- Smith, S. E. et Read, D. J. 1997. *Mycorrhizal symbiosis*. Academic Press, London, 605 p.

Effets des systèmes de culture sur la fertilité des sols d'un bassin versant cultivé sur fortes pentes au Laos

Oloth SENGTAHEUANGHOUNG¹, Anneke DE ROUW², Alounsavath CHANPHENGXAY¹, Bousamay SOULILEUTH¹

¹ UR 176 Solutions IRD, NAFRI BP06. Vientiane, Laos

² UR 176 Solutions IRD, France, de_rouw@ird.bondy.fr

1. Introduction

Dans les moyennes montagnes du Laos, la culture sur défriche-brûlis sans intrant reste le système de culture dominant, même sur des pentes très fortes. Du fait d'une réduction très sensible de la période de jachère, les rendements et la productivité du travail subissent des diminutions marquées. La période entre deux cycles de culture ne permet plus, en effet, une restitution ni des nutriments prélevés à chaque récolte ni de la matière organique disparue par minéralisation. Par ailleurs, ces sols sont soumis à une érosion importante lorsqu'ils sont cultivés, ce qui accentue les pertes en carbone organique. L'objectif de cette étude est d'évaluer les pertes ou les gains en Matière Organique (MO) et en éléments fertilisants (N, P et K) dans un bassin versant cultivé du nord du Laos, en prenant en compte la topographie, les pratiques culturales et la fréquence des mises en culture.

2. Matériels et Méthodes

Le bassin versant de Houay Pano, 67 ha (Nord du Laos) est étudié depuis neuf ans. Ce bassin versant comprend : 1) sur les crêtes quelques îlots reliques de forêt naturelle, 2) sur les versants une mosaïque de jachères et de champs de cultures annuelles à rotations plus ou moins longues ainsi que des plantations de teck, 3) des bananiers plutôt en bas de versant. Sur les versants, les sols les plus facilement accessibles à partir du bas-fond sont cultivés plus fréquemment que ceux de haut de versant.

En 1998, une première campagne d'échantillonnage et d'analyses de sols a été entreprise à partir de 14 fosses et de 33 prélèvements à la tarière. Les mêmes sites ont été échantillonnés en 2006, en vue de procéder aux mêmes analyses dans le même laboratoire du NAFRI. Nous présentons ici les résultats pour les horizons 0-10 cm. Au cours de la même période, nous avons mené une étude détaillée des systèmes de culture, de la végétation et de l'usage de terre.

3. Résultats et discussion

Entre 1998 et 2006, presque tous les sols ont perdu de la MO et tous les sols sont devenus plus acides. La Figure 1 montre que les pertes en MO sont maximales sous les formations ligneuses dépourvues de sous-bois (forêt à Diptocarpacees non protégées et les plantations de teck). Le taux de MO a diminué de 4.0% en 1998 à 3.1% en 2006. En revanche, les forêts à sous-bois (forêt naturelle semi-décidue) montrent une légère accumulation de MO entre

1998 : 4.6% et 2006 : 4.87%. Les agriculteurs ont intensifié leurs rotations sur quelques champs, mais pas sur d'autres. Nos résultats montrent que ces choix de mise en culture suivent un gradient de taux en MO. Les terres de meilleure qualité sont cultivées chaque année ou une année sur deux, alors que les sols marginaux ne sont cultivés qu'une année sur quatre ou plus.

Néanmoins, tous les terrains cultivés en défriche-brûlis ont perdu de la MO mais la richesse relative du sol a compensé la mise en culture fréquente : les champs à rotations longues ont vu leur teneur en MO diminuer de 3.3%, à 3.0%, ceux à rotations moyennes de 4.0% à 3.4%; enfin ceux à rotations courtes de 4.1%, à 3.6%. Les sols de bananeraie ont maintenu un niveau stable de MO au cours.

Contrairement au carbone organique, les taux de N total ont peu varié en huit ans quelque soit l'utilisation des terres. Les taux de P_{avail.} et les taux de K_{2O}_{avail.} montrent une tendance à l'augmentation dans les champs à rotations courtes et ceux situés en bas pente. Les taux restent quasiment constants ailleurs. Seules les bananeraies, cultivées aussi sans intrants, ont vu leur stock en P et K diminuer. Ceci est probablement dû l'exportation continue des régimes, riches en nutriments.

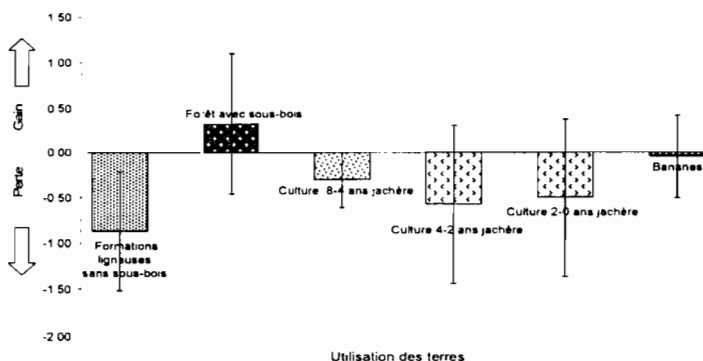


Figure 1 : Gains et pertes de matière organique des sols en fonction de l'utilisation des terres (n=47, profondeur 0-10 cm)

4. Conclusion

Si les pertes en carbone organique des sols cultivés sur défriche-brûlis sont importantes, elles le sont encore plus sous teks. L'absence de sous-bois favorise en effet un ruissellement important, et une érosion hydrique très marquée¹. Les réductions des rendements des cultures annuelles ne peuvent pas être attribuées à la seule diminution des teneurs en éléments fertilisants (NPK) dans le sol, mais à un ensemble de contraintes (enherbement, érosions hydriques et aratoire).

¹ Valentin C. et al., 2007, NAFRI IRD, IWMI, SIDA. Vientiane, sous presse.

5. Références bibliographiques

- Chaplot, V., Rumpel, C., Valentin, C., 2005. Global Biogeochemical Cycles, 19(4): 20-32.
- De Rouw et al., 2007. in Les sols tropicaux en semis direct sous couvertures végétales, (ce colloque)
- De Rouw, A.,et al. 2002. The Lao Journal of Agriculture and Forestry, 5 :2-10
- Huon S.,et al. 2005. Advances in Soil Science. pp. 301-328.
- Lestrelin, G. et Giordano, M., 2007., Land Degradation & Development 18 (1), 55-76.
- Sengtaheuanghoung O. et Valentin, C., 2007.in Shifting agriculture in Asia: implications for environmental conservation and sustainable livelihood. United Nations University, Dehra Run, India, chap. 18, pp. 237-246.
- Valentin et al., 2007. in Les sols tropicaux en semis direct sous couvertures végétales, (ce colloque).
- Valentin C. et al., 2007, NAFRI IRD, IWMI, SIDA, Vientiane, sous presse.

SYMPOSIUM 4 RUISSELEMENT INFILTRATION ET EROSION

Erosion et conservation des sols dans des bassins versants du Laos

Christian VALENTIN¹, Sylvain HUON², Anneke de ROUW¹, Olivier RIBOLZI³, Jean-Pierre THIEBAUX³, Vincent CHAPLOT⁴, Cornelia RUMPEL², Oloth SENGTAHEUANGHOUNG³, Kampaseuth XAYATHIP³

⁽¹⁾ UR 176 Solutions IRD, France, Christian.Valentin@ird.fr

⁽²⁾ UMR 7618 Bioemco, Paris, France

⁽³⁾ UR 176 Solutions IRD, NAFRI BP06, Vientiane (Laos)

⁽⁴⁾ UR 176 Solutions IRD, Afrique du Sud

1. Introduction

Le ruissellement, l'érosion, la réduction de fertilité sont non seulement les conséquences et les premiers symptômes de problèmes *in situ* d'usage des terres, ils entraînent également des conséquences négatives à l'aval comme la détérioration de la qualité des eaux, les inondations, la pollution et l'envasement des cours d'eau et des réservoirs (Maglinao et al., 2003). En vue de fournir des données fiables sur l'impact des changements globaux (anthropiques et climatiques) sur l'érosion, il est essentiel de disposer d'observatoires de suivis à long terme (Valentin, 2004 ; Valentin et al., 2006). En effet, si ces effets sont assez bien documentés à l'échelle de la parcelle, les données font encore défaut à l'échelle des petits bassins versants (Sidle et al., 2006). Dans ce contexte, les données collectées dans les 8 bassins et sous-bassins équipés au Nord du Laos depuis 2001 constituent une source appréciable d'informations sur l'effet des changements d'usages des terres dans des systèmes qui recourent encore à la jachère et n'utilisent pas d'intrants. Ces bassins ont servi également à tester et comparer différentes techniques antiérosives dont le semis direct sous plante de couverture (SCV). L'objectif de cette présentation est de résumer les principaux résultats obtenus sur ces bassins de moyenne montagne à très fortes pentes.

2. Matériels et Méthodes

Le bassin de Houay Pano (0.60 km²) se situe à 10 km de Luang Phrabang. Ses caractéristiques sont représentatives des systèmes de culture et des conditions morpho-pédologiques du nord du Laos (Phommasack, 2001). Sa densité de population par km² cultivable a récemment été multipliée par sept (atteignant 350 hab. km⁻² cultivable) sous l'effet de deux politiques gouvernementales visant, pour la première à regrouper des villages le long des axes de communication pour faciliter l'accès aux soins, à l'éducation et à la santé, la seconde à conserver de larges espaces forestiers (Lestrelin, 2007).

Ces politiques ont entraîné, en moins de quinze ans, une réduction de la durée de jachère de 9 à 2 ans, une augmentation des périodes de cultures de 1 à 2 ans (de Rouw, et al. 2002) et une réduction des rendements en riz pluvial de 60%, d'où le remplacement progressif du riz par d'autres productions comme le maïs (de Rouw et al. 2005).

Un suivi continu hydro-pluviométrique a été mis en place à partir de 2001, avec des fosses à sédiments pour la mesure des sédiments de fonds, et des prélèvements automatiques d'eau pour déterminer les sédiments en suspension.

Quatre systèmes ont été testés sur des petits bassins versants de l'ordre du demi-hectare : le système « traditionnel » de culture sur abattis-brûlis après jachère (S7), la culture continue sous couvert à *Bracharia ruziziensis* (S9), la rotation culture-jachère améliorée par des légumineuses *Cajanus cajan* & *Crotalaria micans* avec (S8) ou sans (S6) rangs d'ananas isohypes.

3. Principaux résultats

Les valeurs maximales de pertes en terres de fonds ont été observées au cours des deux années de culture sous S7 : $4,74 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ en 2002 et $10,15 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ en 2005), avec, en revanche, des niveaux très bas sous jachère naturelle ($0,02 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ en 2003 et $0,38 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ en 2004). Les pertes en terres de fonds ont également été limitées pour S6 (moyenne annuelle $0,09 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$), S8 ($0,86 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$) et S9 ($0,65 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$). Pour les pertes en terres totales, c'est S6 qui a été l'innovation la plus conservatrice avec seulement $0,11 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$. L'analyse des sédiments de S7 a mis en évidence une érosion préférentielle du carbone organique, particulièrement sous la forme de charbons (Rumpel et al., 2006a ; Rumpel et al., 2006b, Rumpel et al., 2007, Chaplot et al., 2007) ce qui entraîne une redistribution du carbone organique à l'échelle des versants (Chaplot et al. 2005a).

Pour l'ensemble des huit bassins versants, les variables les plus explicatives statistiquement des pertes totales en terres ($R^2=0,75$, $n = 44$) sont les pourcentages de surface cultivées en larme de Job (*Coix lacryma-jobi* L) et en maïs. Le développement des ravines est directement corrélé au pourcentage de surfaces occupées par les cultures annuelles (Chaplot et al., 2005b). Les ravines formées deviennent des limites de champs, modifiant ainsi le paysage d'une mosaïque champs-jachères avec les bordures parallèles aux courbes de niveau, en une mosaïque orientée le long des versants, ce qui favorise une meilleure connectivité des chemins de l'eau et l'érosion des versants (Valentin et al., 2005). Les simulations spatio-temporelles réalisées avec différents scénarios d'usage des terres indiquent que si la pratique de culture itinérante sur brûlis venait à être abandonnée au profit d'une généralisation des cultures annuelles, la vitesse du ruissellement au sein des versant augmenterait de façon considérable accroissant l'érosion en ravine d'un facteur 6 (Chaplot et al., 2005c).

Nos données montrent qu'avant l'application des nouvelles politiques publiques, les systèmes de rotation avec 1 année de culture et 8 années de jachères produisaient en moyenne 0,9 tonne $\text{ha}^{-1} \text{an}^{-1}$ de sédiments. Le remplacement du riz pluvial par le maïs entraîne une forte augmentation de l'érosion (11,3 tonnes $\text{ha}^{-1} \text{an}^{-1}$). En quelques années, la réduction de la période de jachère, l'allongement de celle de culture et le passage du riz au maïs se sont ainsi accompagnés d'une multiplication par six de l'érosion moyenne annuelle mesurée à l'échelle des bassins versants (5,9 tonnes $\text{ha}^{-1} \text{an}^{-1}$).

4. Conclusion

Ces résultats mettent ainsi l'accent sur les risques d'intensification de cultures sur fortes pentes. Les cultures sarclées, et notamment le maïs, dont la production est favorisée dans le Sud-Est asiatique pour la production de bio-carburant, provoquent des érosion très marquées non seulement à l'échelle des champs mais aussi des bassins versants, avec des conséquences sur la qualité des eaux et une augmentation des risques d'envasement des canaux d'irrigation et des réservoirs situés à l'aval (Huon et al., 2007). Les pratiques limitant le travail du sol doivent donc être encouragées, particulièrement sur fortes pentes.

5. Références

- Chaplot et al., 2005c. Catena 63, 318-328.
- Chaplot V., et al., 2005b. Catena. 63, 167-184.
- Chaplot V. et al., 2007. Earth Surface Processes and Landforms. 32, (3) 415-428.
- Chaplot, V., et al., 2005a. Global Biogeochemical Cycles, 19(4): 20-32.
- de Rouw, A., et al., 2005. The Lao Journal of Agriculture and Forestry, 11: 79-94.
- de Rouw, A., et al. 2002. The Lao Journal of Agriculture and Forestry, 5 :2-10
- Huon S. et al., 2005. Advances in Soil Science. pp. 301-328.
- Lestrelain, G et Giordano, M., 2007., Land Degradation & Development 18(1), 55-76.
- Magliano, A.R et al.,. 2003. IWMI. 270 p.
- Phommasack, T., 2001. IWMI, pp.153-170.
- Rumpel C., et al., 2006a. Geoderma. 130, 35-46.
- Rumpel et al. 2006. Catena. 130, 30-40.
- Rumpel C., et al. 2007. Organic Geochemistry 38: 911-920.
- Sidle, R.C., et al. . 2006. Forest Ecology and Management, 224, 199-225
- Valentin, C. et al. 2005. Catena, 63 :132-153
- Valentin, C. et al., 2006. CGIAR, Washington, D.C, USA, pp. 68-71.
- Valentin, C., 2004. Springer verlag, Berlin, Global Change - The IGBP Series, 2003: 317-322.

Les techniques d'Agriculture de Conservation sont elles capables de faire mieux que le Zaï manuel ou mécanique pour protéger ou réhabiliter les sols du Sahel ?

Albert BARRO¹, Florent MARAUX², Robert ZOUGMORE¹, Rabah LAHMAR³

¹ INERA, Burkina Faso

² CIRAD, UMR G-EAU, France (Corresponding author, maraux@cirad.fr)

³ CIRAD, UMR SYSTEM, France

Dans les régions Centre et Nord du Burkina Faso, les superficies des sols dégradés et dénudés (*zippélé*) sont considérables (plus de 24% de la surface agricole totale), en progression (+ 9 % entre 1992 et 2002). Le *zaï* manuel est une technique traditionnelle de récupération des sols dénudés qui consiste à creuser à l'aide de pioche ou de daba, des cuvettes de 20 à 40 cm de diamètre et de 10 à 15 cm de profondeur. La terre excavée est rejetée en croissant à l'aval de la cuvette, pour retenir les eaux de ruissellement. Une poignée de fumier ou de compost (~300 g) est ensuite déposée dans la cuvette (Barro et al., 2005).

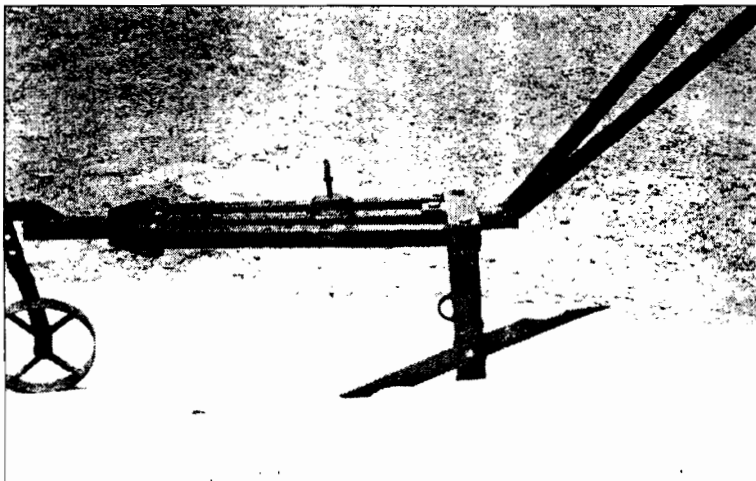
1. Analyse comparative entre technique classique, *zaï* manuel et *zaï* mécanique.

Tous les villages étudiés sont sur le plateau central du Burkina-Faso qui se caractérise par une forte pression foncière. La densité de la population y est élevée (67 ha/km²). Il s'agit de Pougyango (à l'Est de Yako), de Saria (Est de Koudougou, de Nandiala (nord de Saria), de Kindi (Nord Est de Koudougou), de Velia (sud de Koudougou), et enfin Boromtenga.

Les tests ont été conduits de 2000 à 2005. Ils ont été réalisés en milieu paysan. La pluviométrie de la zone se caractérise par une médiane annuelle de 800 mm, mais fluctue considérablement d'une année à l'autre.



Figure 1 : sites d'étude sur le plateau central



Figures 2a (dent) et 2b (traction)

1.a. Les traitements

Les techniques de travail du sol comparées sont les suivantes à Boromtenga, Saria, Nandiala, Kindi et Pougyango :

T0 = Témoin : Il s'agit du scarifiage en traction animale. Il est réalisé à 7cm de profondeur en moyenne avec un cultivateur léger de type houe manga muni de socs en cœurs.

T1 = Zaï manuel : C'est une technique traditionnelle utilisée par les paysans dans la région du Nord. Elle consiste à creuser des cuvettes (zaï) à la main à l'aide de pioche ou de daba. Les paysans apportent environ 300g de fumier dans la cuvette du zaï.

T2 = Zaï mécanique : les cuvettes de zaï sont faites par un attelage avec la dent RS8 ou IR12 montée sur la houe manga (figure 2a) ou le bâti de charrue bovine (figure 2b). La fumure organique apportée au semis est du compost ou du fumier.

1.b. Résultats

Les données sont moyennées sur tous les villages, et toutes les années 2000 à 2004.

Le rendement grains du sorgho local se trouve augmenté de +106% en mauvaise année et à +202% en bonne année avec le zaï manuel et respectivement pour le zaï mécanique de +141% à +273%. En moyenne, la production de grain est augmentée de 3 à 4 fois avec cette technique de zaï mécanique qui assure au producteur plus de sûreté, car même en mauvaise année il y a une quantité importante de grain.

La production de biomasse paille est à l'image de la production de grain (figure 3).

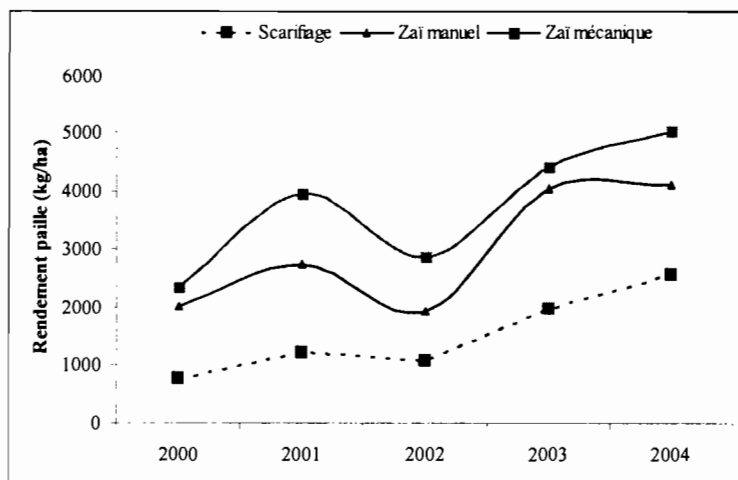


Fig. 3. Fluctuations du rendement paille du sorgho en 2005 sur le scarifiage et le zaï mécanique avec apports d'engrais minéral

2. Perspectives avec l'agriculture de conservation

2.1. Tests d'utilisation du mucuna en plante de couverture

Les tests ont été conduits en milieu paysan et suivis et les producteurs des villages voisins. Ils ont été sollicités à l'occasion de visites commentées.

Les traitements comparés ont été les suivants : Sorgho-Mucuna en association, Mucuna pur, Sorgho pur avec apport de NPK (100 kg ha^{-1}) et d'urée (50 kg ha^{-1}). L'association du Mucuna au sorgho conduit en à des productions de paille et de grain du même niveau que celles obtenues par l'application sur la culture d'un apport de 100 kg/ha de NPK et 50 kg/ha d'urée.

2.2. Mesures de ruissellement

On reproduit ici des résultats de travaux conduits au Burkina Faso, dans lesquels le ruissellement et l'érosion ont été mesurés sur des dispositifs appropriés, pendant toute la saison des pluies, durant 3ans ; 5 traitements : travail à la houe, sorgho pur (Ss), travail à la houe, sorgho pur , et mulch (SMs), labour en traction animale, sorgho et niébé (Ps + c), labour en traction animale, sorgho pur (Ps), labour en traction animale, niébé pur (Pc)

Coefficient de ruissellement annuel (Pourcentage de la pluie totale)

Année	Ss	SMs	Ps + c	Ps	Pc	Nb pluies	Pluie annuelle (mm)
1993		27	1	22	43	26	25
	650						
1994		34	6	10	39	20	27
	910						
1995		28	3	18	41	27	27
	668						

Les effets du zaï sur la biomasse produite et sur les rendements laissent penser que, comme dans le cas qui nous occupe tout de suite, l'essentiel des effets porte aussi sur le ruissellement.

2.3. Modélisation de l'effet de la couverture du sol

De nombreux auteurs se sont intéressés à en modéliser les relations de cause à effet. Scopel *et al.*, (2004) apprécient la quantité de résidus de cultures, le taux de couverture du sol généré par ces résidus, la cinétique de dégradation de cette couverture avec le temps, et la capacité de cette couverture à intercepter et stocker de l'eau de pluie. On apprécie aussi la relation entre la quantité de résidus et le ruissellement, spécialement en début de cycle.

On couple ces équations avec un modèle de culture, en incorporant des équations additionnelles aux modules hydriques et thermiques de ces modèles. Ainsi, on prend en compte simultanément les effets de la couverture sur l'évaporation du sol et sur le ruissellement ; par voie de conséquence, on apprécie à travers le modèle les effets de la couverture sur les facteurs tels que la biomasse, l'azote, et in fine, le rendement.

En termes d'économie d'eau par évaporation, les systèmes SCV sont susceptibles (dans les meilleurs des cas) une dizaine de millimètres par cycle. Par contre, les économies d'eau par moindre ruissellement sont très significatives, et peuvent atteindre plus de 100 millimètres sur un total de 600 mm, même avec une quantité de biomasse initiale de moins de deux tonnes par hectare.

3. Conclusions

Les techniques de conservation des eaux et du sol en général et particulièrement le *zaï* mécanique sont une entrée favorable à l'agriculture de conservation dans les zones centre et Nord du Burkina. Pour le développement de l'agriculture de conservation, il y a un besoin important en biomasse pour nourrir les animaux, fertiliser et protéger le sol contre les agressions climatiques. Ces différents besoins pourraient ne pas être perçus comme antagonistes mais synergiques dans l'exploitation. C'est en cela que la production de biomasse supplémentaire permettant en principe de changer les règles du jeu. Des projets de recherche posant simultanément ces questions sont en cours de mise en place, et devraient déboucher sur la proposition de systèmes de culture à base d'agriculture de conservation, en harmonie avec les conditions du milieu sahélien, environnementales comme sociales.

4. Références bibliographiques

- Barro A., 1999. Evaluation de l'effet et de la faisabilité du travail du sol sur le sorgho Photosensible à Saria (Burkina Faso). Thèse de Doctorat ENSA, Montpellier, Ecole doctorale de Biologie intégrative, 175p.
- Barro A., Zougmore R., Taonda S. J-B., 2005. Mécanisation de la technique du *zaï* manuel en zone semi-aride. Cahiers Agricultures vol. 14. n°6, novembre-décembre 2005. pp 549-559.
- Frédéric B., 2005. Challenges for the adoption of Conservation Agriculture by smallholders in semi-arid Zambia. III word congress on agriculture conservation Nairobi, Kenya, 3-7 October 2005. ACT production.
- McGarry D., 2005. Mitigating Land Degradation and Improving Land and Environmental Condition via Field-Practical Methods of Conservation Agriculture. III word congress on agriculture conservation Nairobi, Kenya, 3-7 October 2005. ACT production.
- Mrabet R. and El Brahli A., 2005. Soil and Crop Productivity under Contrasting Tillage Management Systems in Semiarid Morocco III word congress on agriculture conservation Nairobi, Kenya, 3-7 October 2005. ACT production.
- Scopel E., Da Silva F.A.M., Corbeels M., Affholder F., Maraux F Modelling crop residue mulching effects on water use and production of maize under semi-arid and humid tropical conditions. In : Agronomie (2004) vol.24:n 6-7, p. 383-395
- Tiemtoré/Kaboré I. B., 2006. Stratégies de résolution des problèmes liés à la valorisation des équipements dans les exploitations agricoles au Passoré: cas de la commune d'Arbollé. Rapport de stage CAP de Matourkou. 67p
- Zougmore R., 2003. Integrated water and nutrient management for sorghum production in semi-arid Burkina Faso. TRMP n° 45, PhD thesis, Wageningen University, The Netherlands. 205p.
- Zougmore R, Kambou FN, Ouattara K, and Guillobez S.; Sorghum-cowpea Intercropping: An Effective Technique Against Runoff and Soil Erosion in the Sahel (Saria, Burkina Faso); Arid Soil Research and Rehabilitation, Vol. 14, No. 4. , 329-342.

Effet d'une légumineuse de couverture sur le ruissellement et l'érosion dans des systèmes de culture à base maïs au sud-Bénin

Bernard BARTHES ^{1*}, Anastase AZONTONDE ², Christian FELLER ³

¹ IRD-SeqBio, Montpellier SupAgro, bât. 12, 2 pl. Viala, 34060 Montpellier cedex 1, France.

² LSSEE, 01 BP 988, Cotonou, Bénin.

³ IRD-SeqBio, BP 434, 101 Antananarivo, Madagascar.

* Auteur correspondant : <Bernard.Barthes@mpl.ird.fr>

1. Introduction

La matière organique du sol (MOS) ayant un effet positif sur de nombreuses propriétés du sol, sa gestion est une composante essentielle de la durabilité des agrosystèmes. Par ailleurs, la MOS étant un réservoir important de carbone (C), sa gestion a des implications sur le cycle global du C et le changement climatique. Afin que les sols continuent à assurer leurs fonctions agronomiques et environnementales, les pratiques agricoles doivent donc assurer un niveau élevé de restitutions organiques au sol et contribuer à la séquestration de C. Dans les régions tropicales, la jachère naturelle a longtemps permis cette gestion patrimoniale des sols, spécialement de la MOS. Toutefois, pour avoir des effets significatifs, cette pratique doit se maintenir au moins cinq ans, ce qui devient difficile dans des contextes de croissance démographique ; au sud-Bénin, par exemple, la densité de la population dépasse 300 habitants km⁻². Des pratiques alternatives de gestion de la MOS sont donc à rechercher ; parmi celles-ci, l'introduction de légumineuses de couverture semble prometteuse. Une expérimentation a été mise en place pour tester l'effet de la légumineuse de couverture *Mucuna pruriens* (var. *utilis*) sur la fertilité des sols et le rendement, dans un système de culture à base maïs au sud-Bénin. Les résultats présentés ici portent sur C du sol, le ruissellement et l'érosion.

2. Matériels et méthodes

L'étude était localisée à Agonkanmey (06°24'N, 02°20'E), près de Cotonou, dans une zone de plateaux bas portant des sols ferrallitiques sableux en surface devenant argilo-sableux vers 50 cm de profondeur (Typic Kandiusult). Le climat est tropical subhumide à deux saison des pluies (mars-juillet et septembre-novembre) et la pluviosité moyenne atteint 1200 mm an⁻¹.

L'étude a été conduite de 1988 à 1999 sur trois parcelles d'érosion de 30 m × 8 m, sur une pente de 4%. Chaque parcelle, entourée de plaques métalliques à demi enterrées l'isolant hydrologiquement sur trois côtés, débouchait à l'aval dans un collecteur drainant ruissellement et sédiments vers une première cuve couverte (3 m³) ; lorsque celle-ci était pleine, un partiteur acheminait 10% de l'excédent vers une seconde cuve et éliminait le reste.

Chaque parcelle d'érosion portait un traitement différent : culture pure traditionnelle de maïs sans apport (notée Trad) ; culture pure de maïs recevant

une fertilisation minérale 76-30-30 (NPK) ; culture-relais de maïs et de la légumineuse de couverture *Mucuna pruriens* var. *utilis*, sans apport (Muc). Le maïs (var. DMR) était cultivé pendant la première saison des pluies. Sur la parcelle Muc, il était semé dans le mulch de mucuna de l'année précédente. Mucuna était semé un mois plus tard, se développant surtout après la récolte du maïs, notamment pendant la petite saison des pluies, durant laquelle les parcelles Trad et NPK étaient laissées en jachère naturelle. Dans tous les cas, le travail du sol était réalisé à la houe, à 5 cm de profondeur environ, et limité à l'emplacement des poquets.

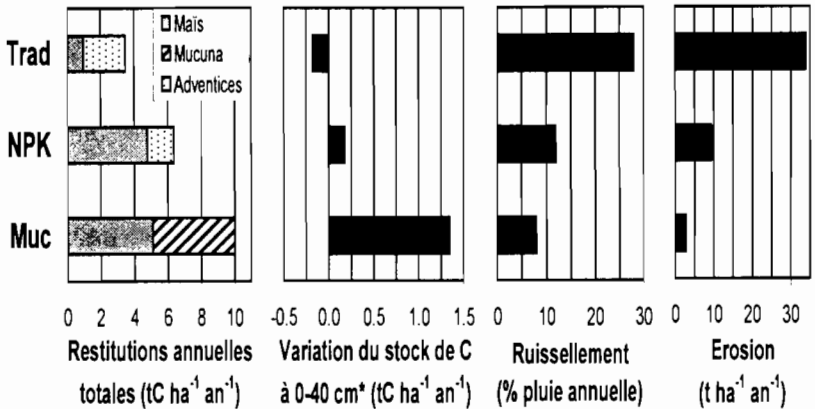
Les biomasses ont été déterminées : à la récolte pour le maïs, en octobre pour mucuna, chaque année pour les parties aériennes, en 1995 pour les racines ; en novembre 1999 pour les adventices (parties aériennes et racines). Densité apparente et teneur en C du sol ont été mesurées en mars, juin, août et octobre 1988 et 1995 et en novembre 1999. Ruissellement et érosion ont été déterminés de 1993 à 1997, après chaque pluie. Le ruissellement était évalué en additionnant le contenu de la première cuve et le décuple de celui de la seconde. Les sédiments grossiers, prélevés au fond de la première cuve, étaient pesés humides et leur poids sec déterminé en séchant des aliquotes. Le poids sec des sédiments en suspension était déterminé sur des aliquotes floculées de suspensions des deux cuves. L'érosion est calculée en sommant sédiments grossiers et en suspension.

3. Résultats et discussion

Pour les traitements Trad, NPK et Muc, les restitutions totales au sol atteignaient 3.5, 6.4 et 10.0 tC ha⁻¹ an⁻¹ en moyenne, dont 61, 26 et 16% sous forme racinaire, respectivement ; le maïs représentait 28, 75 et 51% de C restitué, respectivement, le reste étant constitué par mucuna sur Muc et par les adventices sur Trad et NPK.

La teneur en C du sol différait peu entre parcelles en 1988, mais devenait contrastée en 1999, du fait de faibles variations temporelles sur Trad (-8% à 0-20 cm) et NPK (+3%) mais d'une forte augmentation sur Muc (+90%). En 1999, le stock de C dans la couche de sol ayant la même masse que la couche 0-40 cm initiale (donc à masse équivalente) atteignait environ 23, 29 et 43 tC ha⁻¹ sur Trad, NPK et Muc, soit des variations entre 1988 et 1999 d'environ -2, +2 et +15 tC ha⁻¹, et des variations annuelles de -0.2, +0.2 et +1.3 tC ha⁻¹ an⁻¹, respectivement.

De 1993 à 1997, la pluviosité a varié entre 1000 et 1558 mm an⁻¹, et le taux de ruissellement annuel de 16 à 40% sur Trad (moyenne 28%), de 8 à 15% sur NPK (moy 12%), et de 4 à 11% sur Muc (moy 8%). L'érosion annuelle a varié de 11 à 46 t ha⁻¹ sur Trad (moy 34.0 t ha⁻¹), de 4 à 16 t ha⁻¹ sur NPK (moy 9.3 t ha⁻¹), et de 1 à 6 t ha⁻¹ sur Muc (moy 2.9 t ha⁻¹).



*stock calculé à masse de sol constante, qui est celle de la couche 0-40 cm en 1988.

Mucuna constitue un mulch épais, dont la décomposition enrichit fortement le sol en C (et N), comme cela a été observé ailleurs avec d'autres légumineuses de couverture (par exemple pueraria). De nombreux travaux ont montré que la MOS a un rôle agrégeant ; l'enrichissement en C du sol sous mucuna s'accompagne donc d'une augmentation du taux de macroagrégats stables du sol superficiel, qui permet le maintien d'une macroporosité stable donc favorise l'infiltration au détriment du ruissellement.

Ce moindre ruissellement détermine une moindre érosion. A côté de ces effets résultant du rôle agrégeant de la MOS, le mulch a aussi des effets mécaniques : il protège le sol contre l'impact désagrégeant des gouttes de pluie, ce qui favorise l'infiltration (cf. ci-dessus) ; il ralentit le ruissellement, dont diminue sa capacité à détacher et transporter des particules ; il peut également piéger les particules transportées par le ruissellement, donc diminuer sa charge solide.

Contrôle d'érosion du sol au Brésil par la technique de semis direct : points importants à considérer

Neroli P. COGO¹, José E. DENARDIN², Ildegardis BERTOL, Flávio L. F. & Leandro B. da S. VOLK⁴

¹ Département de Sol/FA-UFRGS, Porto Alegre, RS; boursier du CNPq; e-mail: neroli@ufrgs.br

² Centre Nacional de Recherche de Blé/EMBRAPA, Passo Fundo, RS

³ Département de Sol/CCR-UFSM, Santa Maria, RS

⁴ Département d'Agronomie/CRU-UEM, Umuarama, PR

L'expansion de la surface ou aire de labour avec des cultures annuelles productrices de blé au Brésil a débuté dans la première moitié des années 60, à partir des surfaces de forêt et champs naturels, en employant des pratiques inadéquates de manieiment du sol. Dans ce contexte la culture successive du blé et du soja, plus souvent en terres inaptes aux cultures annuelles, l'excessive mobilisation du sol, à travers des fréquentes opérations de labourage et de nivellement, et l'emploi de la culture de contour et des terrasses (ces dernières, généralement, mal planifiées et mal construites) comme pratiques principales de contrôle d'érosion du sol, en faisaient partie. Ce genre d'exploitation de terre a persisté pendant presque trois décennies, en causant une sérieuse et extensive dégradation du sol, notablement par l'érosion hydrique pluviale. L'atténuation du problème n'a eu lieu qu'à partir de la première moitié des années 90, avec l'adoption au pays, en rythme accéléré, de la technique du semis direct (figure 1).

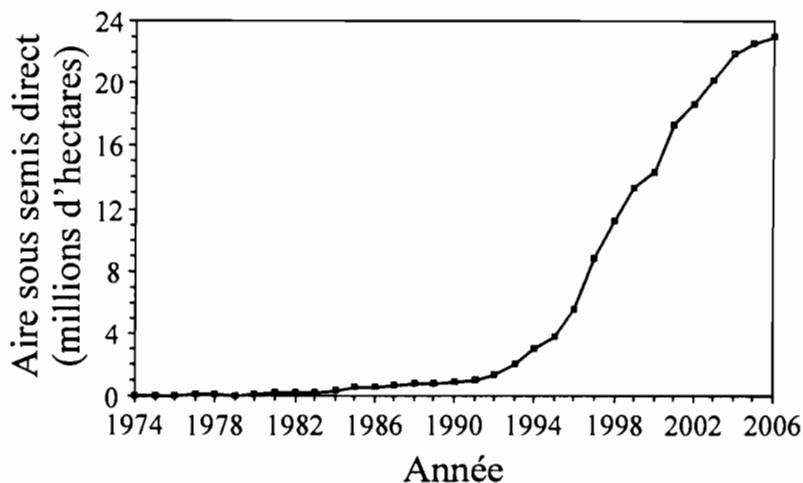


Figure 1. Evolution de la surface de labour avec des cultures annuelles productrices de grains au Brésil, sous la technique du semis direct (adapté de FEBRAPDP, 2007).

La grande motivation dans l'adoption de la semis direct au Brésil a été sa haute efficacité de la réduction de perte de sol par l'érosion, comparée à celle de la méthode conventionnelle de préparation de sol et de plantation des cultures (Tableau 1). Plus tard, en fonction de la diversité des agroécosystèmes au Brésil, cette technique a eu une opportunité d'être de plus en plus renforcée, par la conversion du système de production végétale en vigueur (principalement l'obtention de grain) en un nouveau système (obtention de grain et chair), dénommé intégration labour-élevage.

Ce changement a amplifié et a intensifié le système d'exploitation agricole dans le pays, en donnant naissance à une nouvelle manière de produire, dénommée "processus de récolter-semer", ce qui implique réduire, ou même abolir la période de "entre récolte" (nombre de jours entre la récolte d'une culture et l'implantation de l'autre).

Basé aux résultats positifs de la semis direct au contrôle de l'érosion, on a développé et généralisé, principalement dans la région sud du pays, la pensée qu'elle seule, constituait une pratique suffisante pour conserver à la fois le sol et l'eau dans des terres agricoles et préserver l'environnement. De cette interprétation (erronée et réductionniste) de la technique du semis direct, on a cessé de recommander les terrasses traditionnelles et, dans les labours où elles existaient, totalement détruites, entraînant alors, par question de facilité et de gain de temps les opérations agricoles mécanisées, cela a abouti à l'implantation des cultures au sens de la longueur du labour, indépendamment de la direction et du degré et de l'inclinaison de la pente de son terrain, ainsi on a abandonné aussi la pratique traditionnelle de culture au contour. Sans aucune surprise, en fonction de telles attitudes, on a vite aperçu que l'adoption partielle de l'ensemble de pratiques requises pour conserver le sol et l'eau dans des conditions édafoclimatiques brésiliennes, centrée à peine à l'absence de la préparation du sol et de sa couverture par résidu culturel, ne comblait pas suffisamment les conditions pour contrôler l'érosion et préserver l'environnement dans n'importe quelle situation, spécialement réduire l'écoulement superficiel et la perte des nutriments des cultures (Tableau 2).

Tableau 1 : Pertes moyennes annuelles du sol et l'eau par érosion hydrique en différents manèges de sol, dans trois locaux de l'Etat do Rio Grande do Sul (12 ans d'expérimentation, pluie naturelle, parcelles avec 22 m de longueur – Cassol, 1993).

Manègement du sol	Santa Maria ¹		Eldorado do Sul ²		Ijuí ³	
	Sol (Mg ha ⁻¹)	Eau (% de pluie)	Sol (Mg ha ⁻¹)	Eau (% de pluie)	Sol (Mg ha ⁻¹)	Eau (% de pluie)
Sans culture, PC ⁴	285	30	297	22	75	14
Blé/Soja, PC	68	29	32	8	12	4
Blé/Soja, SD ⁵	27	19	8	4	0,6	0,7

¹El₃₀ annuelle de 8.804 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹, "sandy ultisol", déclivité de 0,09 m m⁻¹;

²El₃₀ annuelle de 6.424 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹, "sandy clay loam ultisol", déclivité de 0,12 m m⁻¹;

³El₃₀ annuelle de 12.074 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹, "clayey oxissol", déclivité de 0,075 m m⁻¹;

⁴Préparation conventionnelle de sol; ⁵Semis direct.

Tableau 2 : Perte par érosion hydrique en surface de champ naturel soumis à la culture de maïs, en deux méthodes conservationiste de préparation de sol (pluie simulée, intensité de $64,0 \text{ mm h}^{-1}$, durée de 90 min, "sandy clay loam ultisol", déclivité de $0,13 \text{ m m}^{-1}$, données obtenues au test de pluie réalisé à l'occasion de la semaille de maïs - Gilles, L.; Cogo, N.P. & Bissani, C.A. Département de Sol/FA-UFRGS, recherche en plein déroulement, 2007).

Préparation de sol	Couv. sup. du sol (%)	Taux final inf. d'eau (mm h^{-1})	Perte de sol (Mg ha^{-1})	Perte d'eau (% de pluie)	P total (kg ha^{-1})	N total (kg ha^{-1})
Scarification	45	33	0,075	32	1,3	1,0
Semis direct	100	13	0	57	8,5	5,1

Hors de ce qui a été dit, les observations et recherches de champ (Figure 2 et Tableau 3, respectivement) ont mis en évidence l'existence des limites critiques de l'accomplissement de déclive pour l'efficacité complète (comme pratique isolée) de réduction d'érosion hydrique de la technique du semis direct, dépendantes du régime de pluie, type de sol, inclinaison de la déclive et type, quantité, forme de manègement et phase de décomposition du résidu culturel. Ainsi, l'utilisation des pratiques conservationistes de support plus le semis direct, comme la culture au contour et les terrasses, pour s'interférer au libre mouvement d'écoulement superficiel, assume une importance dans les locaux caractérisés par: a) régime pluviométrique annuel élevé, b) sols avec une faible capacité d'infiltration d'eau, c) longues déclives et, ou, inclinées et d) utilisation suivie des cultures annuelles en ligne, avec une faible production de biomasse végétale.



Figure 2. Érosion dans un labour ("clayey oxisol") sous semis direct dans l'Etat de Rio Grande do Sul, à l'absence de culture de contour et de terrasses.

Tableau 3 : Longueurs critiques de déclive dans des différentes situations de semis direct (pluie simulée, intensité de $64,0 \text{ mm h}^{-1}$, "sandy clay loam ultisol", déclivités de $0,07 \text{ m m}^{-1}$ e $0,11 \text{ m m}^{-1}$ - Bertol et al., 1997; Morais & Cogo, 2001).

Type, quantité et phase de decomposition du résidu culturel	Longueur critique de la déclive (m)
Maïs, 12 Mg ha^{-1} , frais (déclive de $0,07 \text{ m m}^{-1}$)	>328 a 483
Soja, 5 Mg ha^{-1} , frais (déclive de $0,11 \text{ m m}^{-1}$)	> 94 a 108
Blé, 3 Mg ha^{-1} , frais (déclive de $0,07 \text{ m m}^{-1}$)	>106 a 143
Maïs, 6 Mg ha^{-1} , semi-décomposé (déclive de $0,07 \text{ m m}^{-1}$)	> 152 a 164
Soja, 4 Mg ha^{-1} , semi-décomposé (déclive de $0,11 \text{ m m}^{-1}$)	> 29 a 58

Basé à ce qui a été dit, il ne reste plus doutes que, comparée aux autres méthodes de préparation de sol et implantation des cultures en usage au Brésil, la technique du semis direct est celle qui réduit plus la perte de sol par érosion. Ce pendant, cela ne constitue aucune garantie qu'elle seule (en absence des pratiques conservationnistes de support), dans n'importe quelle situation, va contrôler la perte de sol au niveau toléré, et en même temps, la perte d'eau et la perte de nutriments, en assurant la préservation globale de l'environnement, comme certains croient que ça se passe. En fin, on doit faire une remarque que, dans plusieurs labours du Brésil, ce qui est appelé de semis direct n'est pas le semis direct proprement dit, en notant la considérable mobilisation du sol et une basse quantité de résidus sous la même. Les points cités dans ce résumé seront détaillés et discutés à travers l'exposition orale de ce travail.

Références bibliographiques

- Bertol, I.; Cogo, N.P. & Levien, R. Comprimento crítico de declive em sistemas de preparo conservacionista do solo. R. Bras. Ci. Solo, Viçosa, MG, 21:139-148, 1997.
- Cassol, E.A. Perdas de solo por erosão hídrica no Rio Grande do Sul. IN: Manual Técnico, Vol. 1- Solos, EMATER, Porto Alegre, 1993, p. 24-34. Federação Brasileira de Plantio Direto (FEBRAPD). Área de Plantio Direto no Brasil: <http://www.febrapdp.org.br/> (acesso feito em 01 de junho de 2007).
- Morais, L.F.B. & Cogo, N.P. Comprimentos críticos de rampa para diferentes manejos de resíduo cultural em sistema de semeadura direta em um Argissolo Vermelho da Depressão Central-RS. R. Bras. Ci. Solo, Viçosa, MG, 25:1041-1051, 2001.

Evolution de l'érosion aratoire dans les systèmes de culture sur brûlis sur fortes au Laos

Anneke de ROUW¹, Brice DUPIN², Khambay PHANTAHVONG³,
Christian VALENTIN¹

¹ UR 176 Solutions IRD, France, de_rouw@ird.bondy.fr

² Assistant technique, AVSF projet GRAPE. Lot 9050 Antsahatanteraka, BP 26 503, Ambatondrazaka, b.dupin@avsf.org

³ UR 176 Solutions IRD, NAFRI BP06. Vientiane (Laos)

1. Introduction

L'abattis brûlis est largement pratiqué dans les régions tropicales où la terre est abondante et la main d'œuvre rare. Quand les populations locales disposent de suffisamment de terres, les longs cycles de rotations sont généralement viables au plan écologique. Ils entraînent toutefois une forte érosion, dès lors que les paysans sont contraints de réduire la durée des rotations comme c'est le cas ces dernières années au nord du Laos, sous l'effet de l'augmentation naturelle de la population, mais surtout de politiques gouvernementales visant à regrouper les populations le long des grands axes de communications et de préserver ainsi de vastes régions sous forêt (de Rouw et al., 2002 ; de Rouw et al., 2005, Lestrelin et Giordano, 2007). Le raccourcissement des périodes de jachères s'accompagne d'un enherbement de plus en plus envahissant et rebelle, exigeant des sarclages plus nombreux (Roderet et al., 1995). C'est ainsi que parallèlement à la réduction des rendements en riz pluvial de 60%, les temps de travaux ont augmenté de 70%, en sorte que la productivité du travail est moins du quart de ce qu'elle était il y a quinze ans. Le travail du sol, même manuel, est susceptible de provoquer sous forte pente de l'érosion aratoire (Turkelboom et al., 1999) c'est-à-dire le transfert vers l'aval d'agréats sous l'effet du travail du sol et de la pesanteur. L'objectif de cette présentation est de souligner comment les changements récents de systèmes de culture ont entraîné une augmentation très sensible de l'érosion aratoire dans un petit bassin versant cultivé à très fortes pentes du nord du Laos.

2. Matériels et Méthodes

Cette étude a été menée dans le bassin versant de Houay Pano, à 10 km de Luang Phrabang, au Nord du Laos, où prédominait il y a peu encore la culture itinérante sur brûlis de riz pluvial (*Oryza sativa* L.), de plus en plus remplacé par des cultures de rente comme la larme de Job (*Coix lachryma-jobi* L.). De nombreuses enquêtes auprès des paysans, ainsi que l'examen de photographies aériennes, ont cherché à préciser la dynamique récente des systèmes de culture (de Rouw et al., 2005). Les mesures d'érosion aratoire ont été menées au champ avec six répétitions, sur neuf classes de pentes de 20 à 110% correspondant à la gamme effectivement cultivée. L'outil utilisé était la houe moyenne et la méthode celle des traceurs (agréats peints). Les calculs d'érosion aratoire ont été opérés selon la méthode utilisée par Turkelboom, et al. (1999, op. cit.).

3. Résultats et discussion

Les données obtenues ont permis d'établir des modèles statistiques permettant une prédiction satisfaisante de l'érosion aratoire ($R^2=0.83$, $n=51$). Ils se fondent sur l'inclinaison de pente (%), augmentation exponentielle), la couverture d'adventice (%) qui permet d'apprécier la proportion de surface effectivement sarclée et le couvert basal des cultures (%) qui tend à retenir les agrégats.

Depuis le début de la mise en culture du bassin versant, au début des années 1960, quatre grades périodes ont pu être distinguées en fonction de l'enherbement, du travail du sol et de l'érosion aratoire qui en résulte :

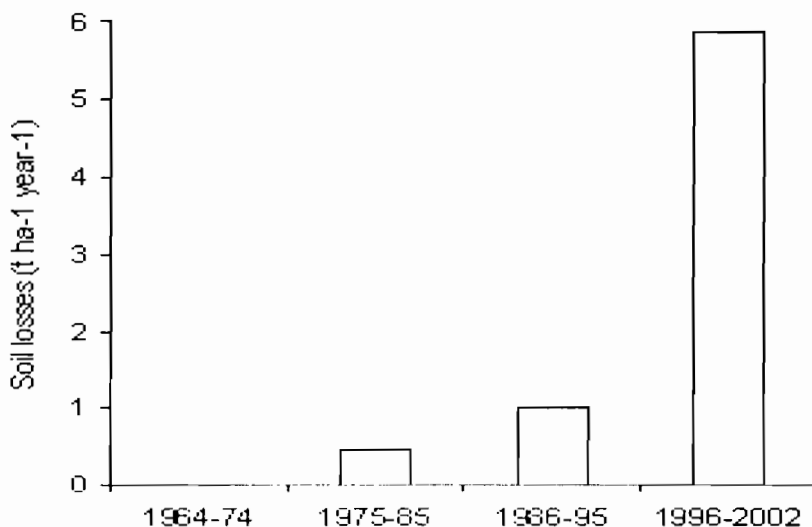


Figure 1. Evolution de l'érosion aratoire selon les quatre phases d'enherbement et de travail du sol, bassin versant de Houay Pano, Laos

- 1) 1960-1974 : mauvaises herbes peu rebelles, arrachées à la main, aucun travail du sol ; pas d'érosion aratoire
- 2) 1975-1985 : un seul sarclage superficiel à la petite houe courbée, discontinu en surface, pour une pente de 60% (Figure 1), érosion aratoire : 0,4 tonne ha⁻¹ an⁻¹
- 3) 1986-1995 : deux sarclages superficiels discontinus à la petite houe courbée ; érosion aratoire : 1,0 tonne ha⁻¹ an⁻¹
- 4) 1996-2002 : une préparation du sol sur l'ensemble de la surface avant semis à la houe moyenne (travail du sol plus profond) devient nécessaire du fait de l'envahissement par *Mimosa diplotricha* C. Wright ex Sauv. suivie de trois sarclages discontinus, érosion aratoire : 6,0 tonne ha⁻¹ an⁻¹.

Ces résultats reflètent une forte érosion aratoire dans la quatrième phase d'évolution des systèmes (4, 6 et 11 tonnes ha⁻¹ an⁻¹ pour des pentes respectivement de 30, de 60 et de 90%). Bien que plus insidieux, cette forme d'érosion est du même ordre que l'érosion hydrique (Valentin et al. , 2007) et ne doit donc pas être négligée.

La translocation moyenne des agrégats par sarclage (houe moyenne) est de 0,99m pour une pente de 50%, soit presque le double de ce qui a été observé dans le nord de la Thaïlande (0,53 m, Turkelboom et al., 1999, op. cit.), plus du double (0,40 m) dans le Sichuan, en Chine, avec un travail plus profond (20 cm) (Zhang et al., 2004), et plus du triple qu'en Ethiopie avec un travail de 8 cm de profondeur par un animal de trait (Nyssen et al. 2000). Ces différences peuvent être expliquées par le caractère plus superficiel du travail du sol au Laos (1 à 2 cm) qui laisse la surface de sol plus lisse, et donc plus apte à laisser les agrégats rouler plus loin en aval.

4. Conclusion

L'érosion aratoire a considérablement augmenté depuis une dizaine d'années dans le bassin versant que nous étudions sous l'effet du raccourcissement de la période de jachère et de l'envahissement par *Mimosa diplotricha* qui en résulte. Cette érosion, déjà du même ordre de grandeur que l'érosion hydrique mesurée à l'échelle des bassins versants, devrait encore augmenter du fait de l'invasion progressive de champs par *Mimosa diplotricha* et l'intensification en cours du système de culture. Il importe dès lors de développer des systèmes sans travail du sol qui puisse être adopté par les paysans, en vue d'une meilleure conservation des sols.

5. Références

- ˆ de Rouw, A., et al. 2002. The Lao Journal of Agriculture and Forestry, 5 :2-10
- ˆ de Rouw, A., et al., 2005. The Lao Journal of Agriculture and Forestry, 11: 79-94
- ˆ Lestrelain, G. et Giordano, M, 2007., Land Degradation & Development 18 (1), 55-76.
- ˆ Roder et al. 1995. Plant and Soil 176:27-36.
- ˆ Turkelboom, F., et al., 1999. Soil & Tillage Research 51:245-259.
- ˆ de Rouw, A., et al., . 2005. in : Poverty reduction and shifting cultivation stabilization in the uplands of Lao PDR., NAFRI, Laos, 139-148
- ˆ Valentin et al., 2007. in Les sols tropicaux en semis direct sous couvertures végétales, (ce colloque).
- ˆ Zhang, J. H., et al., 2004. Soil & Tillage Research 75:99-107.
- ˆ Nyssen, J. et al., 2000. Soil & Tillage Research 57:115-127

Réduction du ruissellement et de l'érosion par les systèmes de culture en semis direct avec couverture végétale pour les cultures pluviales des hautes terres malgaches

Jean-Marie DOUZET¹, Bertrand MULLER¹,
Eric. SCOPEL³, A. ALBRECHT⁴),
Jacqueline RAKOTOARISOA¹), Haingo RAKOTOALIBERA⁶

¹ Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement - CIRAD, Département PERSYST, URP SCRiD, BP 230, Antsirabe, Madagascar.

douzet@cirad.mg

² Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique, Département BIOS, CERAAS-ISRA, Thiès, HP Sénégal.

³ Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement - CIRAD, Département PERSYST, UMR SYSTEM Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, Brésil.

⁴ Institut de recherche pour le Développement – IRD, UR SeqBio, BP 434, 101 Antananarivo, Madagascar

⁵ FOFIFA-Unité de Recherche en Partenariat en Systèmes de culture et Rizicultures Durables, Département de Recherche Rizicole, BP 1690 Antananarivo 101 Madagascar.

⁶ ESSA, URP SCRiD, BP 230, Antsirabe, Madagascar

1. Introduction

Sur les hautes terres malgaches, du fait de l'augmentation de la pression foncière sur les rizières, les collines en pente (tanety) sont de plus en plus mises en cultures, généralement avec labour. En climat tropical d'altitude, avec des pluviométries importantes (1200 à 1800 mm/an), les sols majoritairement ferralitiques et pauvres sont fortement soumis à l'érosion qui entraîne la dégradation de leur fertilité et souvent l'ensablement des rizières en contrebas. Les systèmes de culture en semis direct avec couverture végétale (SCV), introduits au début des années 90, ont montré leur efficacité pour lutter contre le ruissellement et l'érosion, du fait du non travail du sol et de la couverture permanente protectrice. L'objectif de ces études est de mesurer les réductions de ruissellement et d'érosion permises par l'utilisation des SCV dans les champs de cultures pluviales des hautes terres, et les mécanismes de cette réduction.

2. Dispositif et méthodologie

Deux dispositifs principaux ont été mis en place à Andranomanelatra (1640 m d'altitude), près d'Antsirabe, sur des terrains très proches mais de pentes et de passés culturels différents. Ils visaient entre autres à étudier le ruissellement et l'érosion sur différents systèmes de culture en labour ou SCV. Les sols sont ferralitiques argileux, développés sur substrat fluvio-lacustre. Ces 2 expérimentations ont été menées sur 3 à 4 années avec des parcelles de ruissellement de tailles différentes : mini cadres de 1 m² sur un dispositif presque horizontal (pente de 0 à 3 %) avec 7 systèmes comparés, combinant 2

types de gestion du sol –labour ou semis direct-, 2 fertilisations –organique ou organo-minérale- et 3 rotations –riz pluvial en rotation avec maïs + haricot, maïs + soja ou maïs + *Brachiaria ruziziensis*- et 4 répétitions par système (Muller & al., 2005) ; parcelles type Wyschmeier de plus de 20 m² sur un dispositif avec une pente de 10 à 13 %, comparant une rotation bisannuelle maïs + haricot / riz avec 2 modes de gestion du sol (labour et semis direct) (Muller & al., 2005) ; ce dispositif a été installé en 2004-05 sur une jachère de longue durée de graminées, avec 3 puis 5 systèmes installés sur 2 campagnes et 3 répétitions par système. D'autres dispositifs annexes, parcelles paysannes et dispositif Tafa, ont également été instrumentés, dans une moindre mesure.

Sur ces dispositifs, nous avons effectué un certain nombre de mesures : quantification journalière des ruissellements et des érosions, taux de couverture (par comptage sur grille disposée horizontalement au dessus du sol), vitesse d'infiltration par la méthode Beer-kan (Findeling, 2001), ainsi que des mesures de densité apparente et toutes les mesures concernant les productions de biomasse.

3. Résultats

Sur les deux dispositifs principaux, les résultats confirment l'effet positif des SCV sur la diminution des ruissellements et des érosions. Ainsi, en moyenne sur 3 ans, tous systèmes confondus, les SCV permettent de diviser les ruissellements et les érosions respectivement par 3 et 4 sur le dispositif à pente faible et par 4 et 58 sur le dispositif à pente plus forte (Tableau 1). On note que même sur labour, sur ces sols, les ruissellements et les érosions restent limités, avec des coefficients de ruissellement jamais supérieurs à 18 % sur une campagne et des érosions inférieures à 24 t/ha/an (même un témoin labouré toujours propre sur la pente a montré des érosions de 15 à 24 t/ha/an).

		Ruissellement (mm)		Erosion (t/ha)	
		Labour	SCV	Labour	SCV
Dispositif mini cadres	04-05	99	43	8,17	2,17
	05-06	123	27	7,98	1,43
	06-07	227	101	14,70	3,30
	Moyenne	150	57	10,28	2,30
Dispositif lots	04-05	43	19	24,30	0,40
	05-06	82	12	9,50	0,12
	06-07	57	18	1,88	0,10
	Moyenne	64	16	8,23	0,14

Tableau 1 : Valeurs des ruissellements et des érosions moyennes selon le système de gestion des sols (labour vs SD) pour les deux dispositifs principaux et les 3 campagnes passées.

Toutefois, ces résultats cachent de fortes disparités interannuelles, dues au décalage entre le recouvrement des parcelles par les cultures et l'occurrence des plus fortes pluies occasionnant le maximum des pertes en terre (décembre et janvier). Ainsi, la figure 1 montre que les pertes en terre sont nettement plus importantes pour une installation tardive des cultures laissant le sol labouré découvert plus longtemps.

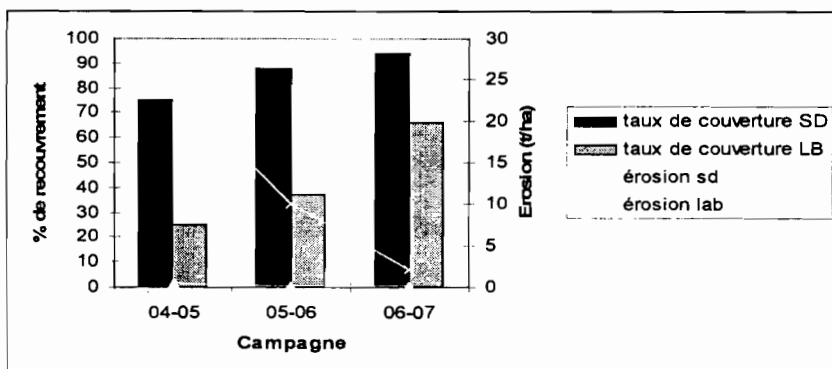
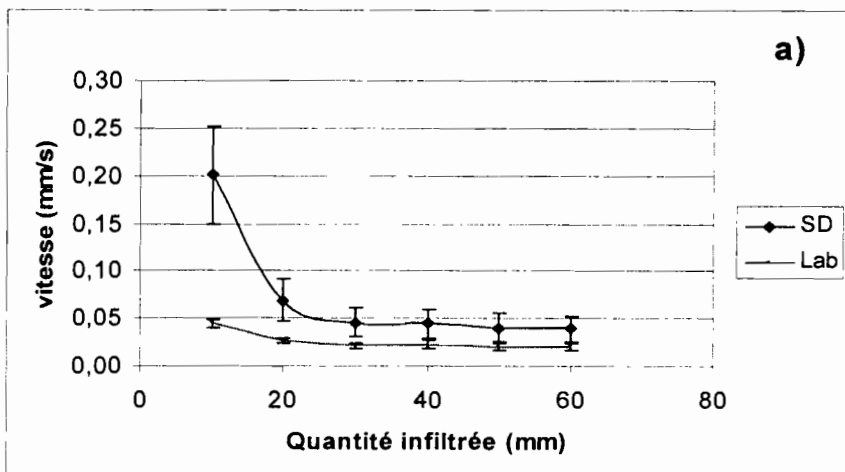


Figure 1 : comparaison des taux de couverture du sol au 15/01 avec les érosions annuelles sur le dispositif pente ; les dates de semis pour les campagnes 04-05, 05-06 et 06-07 sont respectivement 09/12 (maïs + haricot), 10/11 (riz) et 24/11 (maïs + haricot).

Des mesures de l'infiltration menées par la méthode Beer-kan sur le dispositif pente en pleine saison des pluies (4 répétitions en décembre 2004 et 3 répétitions en janvier 2007) sur des parcelles en labour et semis direct montrent une vitesse d'infiltration significativement supérieure sur les parcelles en semis direct par rapport à celles en labour (Figure 2).



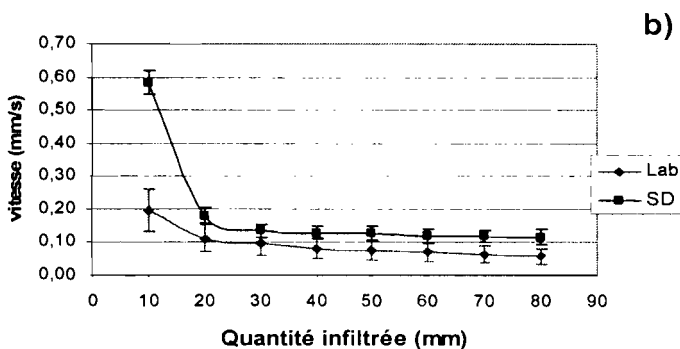


Figure 2 : Vitesse d'infiltration mesurée par la méthode Beer-kan sur l'essai pente, a) la première année et b) la troisième année de mise en culture, sur SCV vs labour, en maïs + haricot.

Sur un certain nombre de parcelles, à la fois sur le dispositif Tafa et sur le dispositif pente, on a pu comparer, pour les mêmes séries d'évènements, les résultats obtenus avec un mini cadre de 1 m² et un lot de Wischmeyer de plus de 20 m². Les résultats de ces comparaisons, montrés dans le tableau 2, sont difficiles à interpréter : si dans tous les cas, sur semis direct, les ruissellements et les érosions semblent nettement surestimés avec les mini cadres, les tendances sont moins nettes sur labour, avec sous-estimation de l'érosion, et résultats assez différents selon les parcelles et les années pour le ruissellement. Ceci confirme que les mini cadres, s'ils permettent de hiérarchiser des facteurs et d'établir des indicateurs (Le Bissonnais et al., 1998 ; Dunjo et al., 2004 ; Uson et Ramos, 2001), ne sont pas adaptés pour donner des valeurs absolues de ruissellements et érosions (Roose, 1994).

		LB		SD	
		ruissellement (mm)	érosion (t/ha)	ruissellement (mm)	érosion (t/ha)
Dispositif Pente	mini cadre	107	1304,5	50	46,6
	lot	61	1483,1	13	9,9
	% cadre/lot	174	88	397	471
Dispositif Tafa	mini cadre	264	2435,9	66	515,8
	lot	396	3607,4	20	45,0
	% cadre/lot	67	68	340	1147

Tableau 2 : Valeurs des ruissellement et érosion obtenues avec mini cadre et lot de Wischmeyer installés sur la même parcelle, et % de la valeur cadre par rapport à la valeur lot sur le dispositif Pente (4 parcelles par campagne) et le dispositif Tafa (2 parcelles par campagne).

Parallèlement aux mesures quantitatives, des mesures qualitatives des pertes en terre (C, matière organique, éléments chimiques) sont en cours.

4. Références

- Dunjo G., Pardini G., Gispert, M., 2004. The role of land use-land cover on runoff generation and sediment yield at a microplot scale, in a small Mediterranean catchment. *Journal of Arid Environments*, 57 (2004), 99-116.
- Findeling, A., 2001. Etude et Modélisation de certains effets du semis direct avec paillis de résidus sur les bilans hydrique, thermique et azoté d'une culture de maïs pluvial au Mexique. Thèse de Doctorat de l'ENGREF, 335p + annexes.
- Muller B., Douzet J.M., Rasoloniaina M.B., Rabezanahary S., Rasamilala A., Razakamiaramanana, Albrecht A., 2005. Caractérisation de la protection du sol contre l'érosion due à différents systèmes de culture en semis direct sur couverture végétale à l'aide de micro-lots dans le cadre d'un essai multidisciplinaire. Actes des journées scientifiques du réseau érosion et GCES de l'AUF, Antananarivo, Madagascar, 25-27/10/05, 199-202.
- Muller B., Douzet J.M., Rabeharisoa R. L., Razafimiroe R. R.N., Rakotoarisoa J., Razakamiaramanana, Albrecht A., 2005. Erosion et évolution des conditions culturales après défriche sous différents systèmes de culture en labour et semis direct sur couverture végétale. Actes des journées scientifiques du réseau érosion et GCES de l'AUF, Antananarivo, Madagascar, 25-27/10/05, 193-198.
- Roose E., 1994. Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). Bulletin pédologique de la FAO N°70, 420 p.
- Uson A., Ramos M.C., 2001. An improved rainfall erosivity index obtained from experimental interrill soil losses in soils with a Mediterranean climate. *Catena*, 43 (2001) 293-305.

CONFERENCE DEBAT

LE CAPITAL SOL, CAS DES SYSTEMES SCV

Capital naturel et développement durable à Madagascar

Timothée Ollivier², Pierre-Noël Giraud

CERNA/Ecole des Mines de Paris/ParisTech

1. Objectif

La richesse d'un pays résulte de l'accumulation de quatre types de capitaux : physique (infrastructures, machines...), social (institutions, qualité de la gouvernance...), humain (savoir-faire, santé...) et enfin naturel (ressources en sols, forêts, ressources halieutiques...). Il est important de connaître les dynamiques de ces différents types de capitaux afin d'avoir une idée de la durabilité de la croissance d'un pays. C'est ce que nous nous proposons de faire sur l'exemple de Madagascar à travers cette évaluation de capital naturel. Nous intégrons ensuite les différents types de pressions auxquelles est soumis ce capital naturel (déforestation, pollutions, dégradation des sols agricoles...) dans un indicateur macroéconomique de durabilité: le « taux d'épargne véritable ».

. Définitions et méthodologie

Evaluation du capital naturel de l'île

Le capital (au sens comptable du terme) se définit habituellement comme un ensemble de stocks et d'équipements capables de fournir des flux de services monétaires ou physiques au cours du temps. Par extension, on considère que les biens et services écologiques dérivent de stocks existants de capital naturel. La méthodologie utilisée ici pour évaluer ce capital naturel est proche des outils utilisés par la Banque Mondiale dans son rapport « *Where is the Wealth of nations ?* » (2005).

La valeur d'un capital est égale à la somme actualisée des bénéfices nets futurs (rentes) qu'il génère. Ces rentes sont évaluées pour les ressources suivantes : terres agricoles, pâturages, ressources forestières (bois et produits forestiers non ligneux), aires protégées et ressources halieutiques.

²Timothee.ollivier@ensmp.fr, 60 boulevard Saint-Michel 75272 Paris. Tel : +33 1 40 51 90 00

Calcul du « taux d'épargne véritable »

Les indicateurs macroéconomiques traditionnels (PIB par exemple) reflètent mal la richesse réelle d'un pays dans la mesure où ils n'incluent pas la dépréciation du capital naturel et sont centrés essentiellement sur le capital physique. Le « taux d'épargne véritable » (G) est un indicateur permettant de corriger ce biais. Il peut être défini par la formule $G = p_i \dot{K}_i - K_i$ où p_i correspond au prix implicite du stock de capital et K_i le stock du capital i . Différents travaux théoriques (Hamilton et al, 1998) ont montré que : un $G < 0$ entraîne un sentier de croissance non durable, et un $G > 0$ implique un sentier de croissance durable sous réserve que le taux de croissance ne dépasse pas le taux d'intérêt. Concrètement, il s'agit de réajuster l'épargne nationale par les dépenses d'éducation, la dépréciation du capital physique, la déforestation, la dégradation des sols, les pollutions particulières urbaines et rurales ainsi que les dommages liés aux émissions de CO_2 .

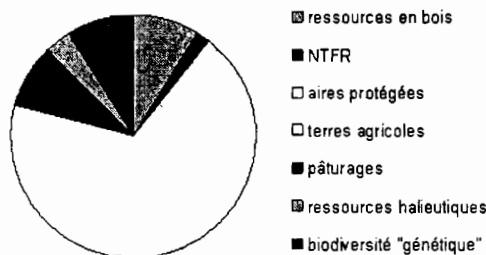
3. Principaux résultats**Importance du capital naturel par rapport aux autres types de capitaux**

La part du capital naturel dans la richesse totale apparaît donc très importante. Nous pouvons par ailleurs noter l'importance du capital immatériel (institutions, éducation, santé...) dans la richesse du pays.

	VAN (2005\$)
Capital naturel	2208
Capital physique	395
Capital immatériel (social + humain)	2417
Richesse totale	5020

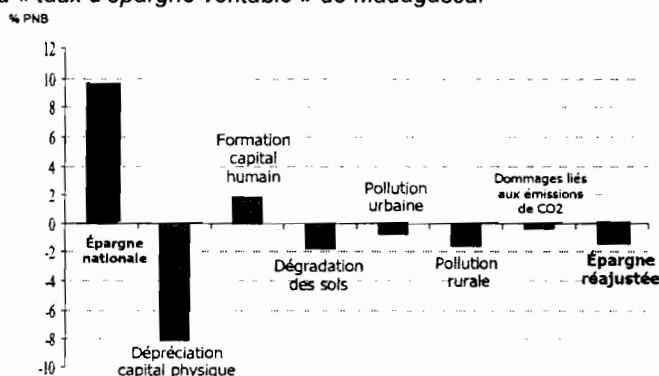
Les différentes composantes du capital naturel de Madagascar

	Valeur (\$2005/hab)
Forêts	
Bois	192
PFNL	35
Aires protégées	7
Biodiversité "génétique"	197
Terres agricoles	
Sols cultivés	1515
pâturages	192
Ressources halieutiques	70
Total	2208



On peut donc remarquer à travers la composition du capital naturel de Madagascar l'importance considérable des sols cultivés.

Calcul du « taux d'épargne véritable » de Madagascar



Le schéma ci-dessus présente les différentes étapes du calcul du taux d'épargne véritable de Madagascar en cumulé. Il apparaît ainsi que l'épargne de Madagascar, corrigée des différentes dégradations de l'environnement, est négative. Le pays se situe donc dans une phase de décapitalisation et non d'accumulation, contrairement à ce qu'indique l'épargne nationale traditionnellement calculée.

4. Quelques références

- Giraud, P.-N. and D. Loyer (2006). Natural capital and sustainable Development in Africa. *A quoi sert d'aider le sud?* S. Michailov. Editions Economica.
- Hamilton, K. and M. Clemens (1999). "Genuine Savings Rates in Developing Countries." *World Bank Economic Review* 13(2): 333-56.
- World Bank (2006). *Where is the Wealth of Nations? Measuring Capital for the 21st Century*. Washington, DC.

COMMUNICATIONS POSTERS

SYMPOSIUM 1

Bilan de carbone sous système de culture intensif

João Carlos DE MORAES SÁ¹, Lucien SÉGUY²,
Olivier HUSSON³, and Eric GOZÉ⁴

¹ Universidade Estadual de Ponta Grossa, 84010-900, Ponta Grossa-PR, Brazil;

jcmsa@uepg.br

² CIRAD – UPR Couverts permanents - CP 504 - Agencia Central - 74001-970 Goiânia GO – Brazil

³ GSDM – CIRAD – UPR Couverts permanents - Ampandrianomby - BP 853 - 101 Antananarivo – Madagascar

⁴ CIRAD – UPR Biostatistique - Avenue Agropolis - 34398 Montpellier Cedex 5 – France

Des expérimentations comparant des systèmes de culture intensifs ont été menées au Brésil et à Madagascar, dans les zones tropicale et subtropicale. Des systèmes sans labour à couverture permanente (NT) ont été comparés au labour classique (CT), ou à un témoin en jachère. Sur la ferme ABC au Brésil, avec en dispositif en blocs randomisés à 3 répétitions, des systèmes intermédiaires ont permis en plus de constituer une échelle de quatre niveaux de travail du sol (figure 1).

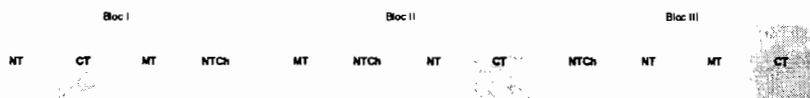


Figure 1 : Dispositif expérimental en blocs aléatoires complets dans la ferme ABC (état du Parana, Brésil). NT=sans labour - NTCh=Chiesel tous les 3 ans - MT=travail superficiel - CT=labour conventionnel

La teneur en carbone organique du sol (SOC) a été mesurée tous les mois jusqu'à 10 cm de profondeur, 15 ans après le début de l'expérimentation ABC. Les variations saisonnières considérables du stock de carbone labile associé aux agrégats de taille supérieure à 53 µm ont indiqué un flux et une transformation continus de carbone (figure 2). Associée à des agrégats de taille inférieure à 53 µm, la fraction plus stable du carbone était aussi supérieure en masse sous le système sans labour (NT). Le stock total de carbone organique, suivant les saisons, était de 4 à 15 tonnes supérieur à celui mesuré avec labour (CT).

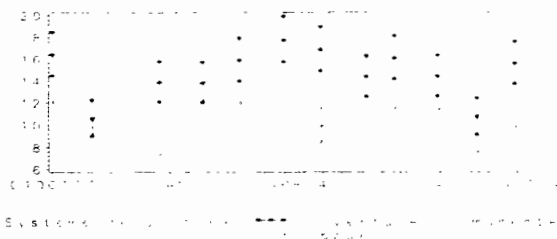


Figure 2 : Variations mensuelles comparées du stock de carbone organique labile du sol dans les systèmes avec couverture permanente sans labour et à labour classique

Dans tous les essais, le bilan de carbone était aussi le plus favorable sous le système sans labour (NT). Cette supériorité était concomitante à un apport supérieur de matière organique (figure 3). Mais deux des expérimentations ont montré des systèmes NT et CT proches par leurs apports en carbone, alors que le bilan restait bien plus favorable sous le système NT.

La cause était à rechercher dans une minéralisation plus lente.

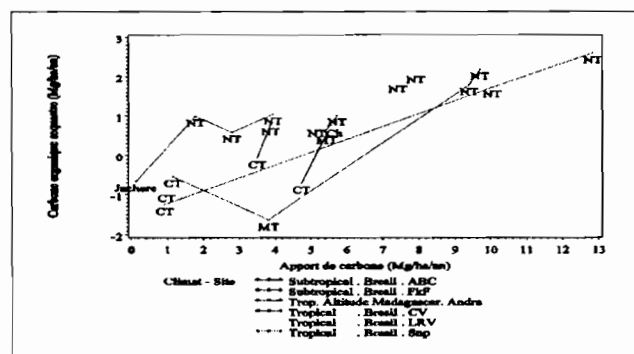


Figure 3 : Masse de carbone séquestrée annuellement en fonction de la masse apportée annuellement par les systèmes de culture comparés en différents lieux.

Cette minéralisation plus lente est clairement illustrée à l'aide d'un modèle simple de bilan carboné, fondé sur deux suppositions : i/ de la masse de carbone organique laissé sous forme de résidus de récolte ou de couverture morte, une proportion k_1 est incorporée au carbone organique du sol (SOC) ; ii/ une équation différentielle du premier ordre est supposée régir la minéralisation de ce carbone organique du sol, vu comme un seul compartiment. La masse de matière organique du sol décroît alors exponentiellement au taux annuel k_2 , estimé d'après les données disponibles sur chaque traitement. Dans l'expérimentation ABC, les taux de minéralisation étaient significativement différents entre systèmes de culture, et leur progression suivant le niveau de travail du sol montre qu'une minéralisation plus lente était associée à la fois à un sol moins perturbé et à un apport supérieur de biomasse protectrice.

Estimation des stocks de carbone dans les sols malgaches

Clovis GRINAND¹, Andriantahina RAJAONARIVO², Vincent PAJOT⁴,
Martial BERNOUX³, Alain ALBRECHT¹, Christian FELLER¹

¹ Laboratoire de Radio-Isotopes, Service de la Radio Agronomie (LRI/SRA)-UR179 SeqBio, Université d'Antananarivo, Route d'Andraisoro BP 3383, 101 Antananarivo, Madagascar

² Laboratoire de pédologie, FOFIFA, Parc Botanique et Zoologique de Tsimbazaza, 101 Antananarivo, Madagascar

³ IRD UR179 SeqBio, 2 place Viala, bâtiment 12, 34060 Montpellier cedex 1, France

⁴ IIRD, US018 Valpédo, 911, avenue Agropolis, BP 64501, 34394 Montpellier Cedex 5, France

1. Introduction

Les pratiques de gestion ou d'utilisation des sols tels que l'afforestation ou l'agriculture de conservation dans les régions tropicales représentent un enjeu important pour la séquestration du carbone atmosphérique (Robert, 2001). Le sol représente le plus grand réservoir naturel de carbone de surface (~1500 à 2300 Gt selon les auteurs). Une variation même minime de son stock peut contribuer, positivement ou négativement, à l'effet de serre. La grande diversité de la végétation, du climat et des sols de Madagascar est a priori responsable d'une grande variabilité des stocks de carbone dans le sol. Cependant, ces données manquent à l'échelle de Madagascar. Par ailleurs, des valeurs de référence sont nécessaires pour quantifier le gain en termes de stockage de carbone de projets ayant une composante « crédit carbone ». L'objectif de ce travail est de donc d'estimer les stocks de carbone et leurs variations à l'échelle de Madagascar.

2. Matériels et Méthodes

- Constitution d'une base de données pédologiques

A partir des études pédologiques au 1/200 000, 1/100 000 et 1/50 000 réalisées dans différentes régions de Madagascar, une base de données pédologique a été constituée. Elle reprend les descriptions de profils ainsi que les analyses physico-chimiques des différents horizons de sol. Les cartes publiées ont été également utilisées afin de localiser les sites de prélèvements auxquels se réfèrent les descriptions et les analyses. Ces données ont été numérisées et géoréférencées dans un Système d'Information Géographique.

- Calcul des stocks de carbone

Préalablement au calcul des stocks, un travail d'harmonisation de la base a été réalisé afin de s'affranchir des mesures incohérentes et d'effectuer des corrections éventuelles dans certains cas. Le calcul du stock de carbone a été réalisé à une profondeur fixe, de 0 à 30 centimètres. Il tient compte de la teneur en carbone, la densité apparente et l'épaisseur de l'horizon. Les mesures de densité apparente étant absentes dans les rapports, cette propriété des sols a été estimée à partir des mesures argile, de teneur en carbone et de la somme des bases échangeables (Benites et al, 2007).

- Carte des sols et croisement des données

Plusieurs cartes pédologiques à l'échelle de Madagascar ont été publiées. Dans cette étude nous avons utilisés la plus récente qui s'intéresse plus particulièrement aux unités géomorphologiques (Delenne et Pelletier, 1981). Elle a été synthétisée et traduite en terme de sol, relief et géologie par un expert pédologue. Les types de sol ont été nommés selon la classification française. La carte a ensuite été géoréférencée puis ajustée spatialement afin de faire correspondre le plus possible ses limites avec les contours réels de l'île. Les stocks de carbone calculés par profils ont finalement été croisés avec les unités de sol.

3. Résultats

La base de données pédologiques reprend des études réalisées de 1946 à 1979 par l'ORSTOM. Elle contient des résultats d'analyse de 650 horizons de sol, allant de 0 à 10 mètres et correspondant à 264 profils. Les stocks C de 0 à 30 cm ont cependant pu être calculés sur 171 profils (306 horizons). Les profils décrits et analysés présents dans les notices n'ayant pas toujours été localisés sur les cartes pédologiques, sur les 171 profils avec un stock C, seulement 125 profils étaient géoréférencés. La suite des analyses a été réalisée sur ces 125 profils.

Sur l'ensemble des profils, la moyenne des stocks de sol sur 30 centimètres est de $5,52 \text{ kg.m}^{-2}$ avec des valeurs allant de 0,11 à $18,92 \text{ kg.m}^{-2}$. La figure 1 montre une dissymétrie de la distribution des stocks, le nombre de profils diminue lorsque les stocks augmentent. Les valeurs les plus élevées n'ont été observés que sur deux profils et correspondent à des sols hydromorphes.

Fig. 1 : Histogramme de distribution des stocks de carbone

Il existe une bonne corrélation entre le nombre de profils et la superficie de l'unité taxonomique de sol. Les sols ferrallitiques, dominant sur Madagascar (49% de l'île), sont caractérisés par 39 profils alors que les sols les moins représentés, les Vertisols et les Andosols (1% et 0,1%) ne sont caractérisés que par 2 et 3 profils respectivement. Les sols peu évolués d'érosion sont cependant les plus mal représentés avec 2 profils pour $24\,800 \text{ km}^2$.

En terme de stock de carbone, deux unités taxonomiques, les Andosols et les sols hydromorphes, se détachent des autres types de sol par leurs valeurs

élevées, de 12,77 et 9,11 kg.m⁻² respectivement. Pour les autres unités, les stocks moyens par unité de sol s'étendent de 2 à 7 kg.m⁻². Il faut noter cependant les fortes valeurs d'écart-type, causés principalement par un nombre insuffisant de données. Sur l'ensemble des profils, on note un coefficient de variation de 75%.

La distribution des stocks de carbone à l'échelle de l'île est donc directement liée aux types de sols. Les valeurs les plus faibles sont localisées à l'Ouest et au Sud alors que les plus élevées se trouvent à l'Est, au niveau du Lac Aloatra et sur les parties hautes de l'île : la région d'Anstirabe, la montagne d'Ambre et l'Ankarana. La grande partie de l'île, marquée par des sols ferralitiques, a donc des stocks moyens sur 0-30 cm de 6.3 kg.m⁻². Cependant, les types de sols dont les stocks ont été calculés avec moins de 3 profils représentent 20% de l'île.

4. Conclusion et perspectives

Ce travail constitue une première estimation de stocks de carbone à l'échelle de Madagascar. L'analyse de ces valeurs par type de sol fournit des valeurs de référence et permet de dégager des tendances nettes comme les faibles valeurs de stock de C à l'Ouest et au Sud et les fortes valeurs à l'Est et sur les parties les plus élevées de l'île. Cependant ces résultats préliminaires sont associés à une grande incertitude de mesures, causées principalement par un manque de données. Ces résultats devront donc être affinés en (i) validant la fonction de pédotransfert de densité apparente sur des mesures locales et en (ii) complétant la base à partir d'études pédologiques existantes et de nouvelles prospections dans les zones sous ou non-représentées. Des mesures fiables permettront par la suite d'évaluer et hiérarchiser les déterminants des stocks de carbone à l'échelle de Madagascar comme le climat, le relief et les modes d'usages des terres.

5. Références

- Robert M., 2001. Soil carbon sequestration for improved land management . World Soil Resources Reports-FAO 96, 75p.
- Benites V.M., Machado, P.L.O.A., Fidalgo, E.C.C. ; Coelho, M.R., Madari, B.E. 2007, Pedotransfert functions for estimating soil bulk density from existing soil survey reports in Brazil. Geoderma, 139, 90-97
- Delenne M., Pelletier F., 1981. Carte du Potentiel des Unités Physiques, au 1:1 000 000e, ORSTOM, Bondy, France.

Figures qui vont apparaître sur le poster**Tableau 1 : Stocks de carbone sur 30 centimètres par unités taxonomiques**

	Aire (km ²)	n	Stock C sur 30 cm (kg.m ⁻²)				
			Moy	Min	Max	SD	Med
Sols ferrallitiques	274 561	39	6,30	0,50	18,92	3,74	5,67
Sols ferrugineux	164 510	36	4,60	0,11	15,19	3,99	3,44
Sols fersiallitiques	16 375	4	1,99	0,57	3,08	1,22	2,15
Sols peu évolués d'apport	37 752	20	3,82	0,18	10,75	3,13	2,61
Sols peu évolués d'érosion	24 824	2	5,95	3,14	8,76	3,97	
Sols minéraux bruts, lithosols	20 252	3	3,35	1,76	5,21	1,74	3,09
Sols hydromorphes	15 172	10	9,11	1,01	17,16	6,16	10,30
Podzols	5 598	5	6,90	6,20	8,76	1,23	6,42
Vertisols	5 341	2	2,56	0,39	4,73	3,07	
Andosol	542	3	12,77	11,93	13,82	0,96	12,57
Roche nue	26 097						
Tous profils	591026	124	5,53	0,11	18,92	4,15	4,34

ou

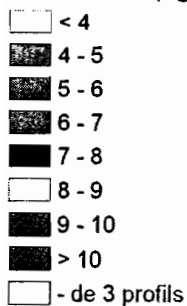
Tableau 2 : Stocks de carbone sur 30 centimètres par type de sol

	Aire (km ²)	n	Stock C sur 30 cm (kg.m ⁻²)				
			Moy	Min	Max	SD	Med
Sols ferrallitiques	274 561	39	6,30	0,50	18,92	3,74	5,67
indurés, concrétionnés	28 514	6	4,29	0,69	8,37	2,84	3,93
humifères	4 259	3	9,74	3,70	14,01	5,38	11,50
fortement rajeunis, pénévulés	126 365	10	5,96	0,50	9,62	3,03	6,52
rajeunis à structure dégradée	55 624	14	6,26	0,59	18,92	4,22	5,19
rajeunis humifères	32 917	1	11,81				
rajeunis à structure dégradée	26 727	5	6,31	2,09	9,18	2,58	6,74
typiques brun-rouges	155	0					

Sols ferrugineux	164 510	36	4,60	0,11	15,19	3,99	3,44
jaunes-rouges (sables roux)	63 672	26	3,92	0,11	12,11	3,34	3,32
rouges	22 759	4	7,71	0,46	13,52	5,45	8,44
squelettiques peu profond érodés	78 080	6	5,46	0,69	15,19	5,20	4,92
Sols fersiallitiques	16 375	4	1,99	0,57	3,08	1,22	2,15
jaunes	2 206	2	0,98	0,57	1,38	0,57	
rouges	14 170	2	3,00	2,93	3,08	0,11	
Sols peu évolués d'apport	37 752	20	3,82	0,18	10,75	3,13	2,61
alluvio-colluviaux	3 233	4	4,00	0,27	8,96	3,63	3,39
éolien	4 655	1	0,18				
fluvio-marin, Mangroves	7 592	2	2,02	1,33	2,72	0,98	
Salés	22 273	13	4,32	0,30	10,75	3,20	2,50
Sols peu évolués d'érosion, lithosols	24 824	2	5,95	3,14	8,76	3,97	
Sols minéraux bruts lithiques	20 252	3	3,35	1,76	5,21	1,74	3,09
Sols hydromorphes	15 172	10	9,11	1,01	17,16	6,16	10,30
Podzols	5 598	5	6,90	6,20	8,76	1,07	6,42
Vertisols	5 341	2	2,56	0,39	4,73	3,07	
Andosols	542	3	12,77	11,93	13,82	0,96	12,57
Roche nue	26 097						
Tous profils	591 026	124	5,52	0,11	18,92	4,17	4,19

Figure : Carte des estimations de stocks de C par type de sol

Stock de C (kg.m-2)



Afforestation et stockage du carbone dans le sol et la végétation. Cas de la lisière ouest du corridor forestier de Fianarantsoa (Madagascar)

Norosoa Christine RAZAFINDRAMANANA¹, Georges SERPANTIE²,
Stéphanie CARRIERE², Marie Antoinette RAZAFINDRAKOTO³, Eric
BLANCHART⁴, Alain ALBRECHT¹

¹UR 179 SeqBio de l'IRD, Laboratoire des Radio Isotopes- Service de la Radio Agronomie (LRI/SRA), Université d'Antananarivo, Route d'Andraisoro BP.3383, 101 Antananarivo

² UR 168, IRD DSS, IRD 911 Avenue Agropolis, BP 64501, 34394 Montpellier Cedex 5

³Départements des Eaux et Forêts, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques (ESSA), Université d'Antananarivo, BP 175, 101 Antananarivo, Madagascar

⁴UR 179 Seqbio, ENSAM, 2 Place Viala, bâtiment 12, 34060 Montpellier cedex 1, France.

1. Introduction

Le dioxyde de carbone (CO₂) compte parmi les principaux gaz à effet de serre responsables de l'augmentation actuelle de la température terrestre. Celle-ci entraînera probablement un changement climatique dont les conséquences pourront être désastreuses (IPCC, 2001). Il s'avère donc indispensable de limiter la quantité du CO₂ atmosphérique par différentes pratiques de création de « puits » de carbone, au rang desquels l'afforestation tient une place reconnue. Cette pratique fait l'objet de la présente étude. Quatre systèmes ont été étudiés : (1) la savane herbeuse à *Aristida similis*, considérée comme témoin (K), (2) les plantations de *Pinus patula* sur savane, exploitées partiellement en 1998 (P) et (3) celles d'*Eucalyptus robusta* exploitées en taillis (E), et (4) une culture vivrière sur savane (C).

2. Matériels et méthodes

L'étude a été entreprise en lisière ouest du corridor forestier Fianarantsoa. Le climat est de type tropical d'altitude. Les sols sont de type ferrallitique (UPDR, 2003). Après une étude cartographique et des enquêtes de terrain, deux sites d'études ont été retenus : site 1 à Ambalavao Sud, le sol y est plus argileux (A = 53,5%) que le site 2 à Andranolava (A = 34%). La biomasse aérienne de pin et d'eucalyptus a été déterminée à partir d'une équation allométrique. Le stock de carbone dans la biomasse des arbres a été évalué à partir de la conversion de la matière sèche de l'arbre en stock de carbone. Pour la biomasse aérienne de la savane, des sous-bois de pin et de la litière, la méthode de la récolte intégrale a été adoptée (Levang & Grouzis, 1980). Pour la détermination de la biomasse hypogée, plusieurs méthodes ont été combinées : carottage, bloc et dessouchage de l'arbre. Une modélisation de la répartition racinaire a permis d'affiner l'estimation du stock. Le stock de carbone dans le sol a été établi après mesure de la densité apparente et de la teneur en carbone organique dans une couche de masse constante, sur une profondeur de moins de 40 cm.

3. Résultats et discussion

Le stock total de carbone des différents systèmes étudiés est présenté dans le tableau 1. Le changement d'utilisations de savane par afforestation ou culture diminue le stock de carbone dans le sol, en passant à Andranolava, de 69,9 MgC.ha⁻¹ sous savane à 61,0 MgC.ha⁻¹ sous pin, 56,7 MgC.ha⁻¹ sous culture et 50,8 MgC.ha⁻¹ sous eucalyptus. Pour les plantations de pins, la diminution du stock de carbone dans le sol peut être expliquée par une minéralisation de la matière organique du sol en présence de champignons mycorhiziens microorganismes hétérotrophes qui vivent en symbiose avec les racines des pins (Chapela et al, 2001). Concernant, la culture du manioc sur savane, la diminution du stock de carbone dans le sol est liée aux différentes opérations culturales : labour, sarclage. Ces opérations entraînent une augmentation de l'aération dans le sol stimulant la minéralisation de la matière organique par les micro-organismes du sol (Barthès et al., 1996), une dilution de la teneur en matière organique, et une augmentation du risque érosif.

Pour un même traitement, les stocks de C-sol sont plus élevés dans le site d'Ambalavao Cette différence peut être attribuée à la texture du sol. Le sol d'Ambalavao argileux est plus favorable au stockage de carbone que le sol d'Andranolava.

Tableau1 : Bilan du stock de carbone dans le sol et la biomasse des différents systèmes étudiés en MgC.ha⁻¹ (Résultats avant exploitation pour le pin)

Tt m	B. arborée		Sous bois et herbacé es		Litière		Racine fines		Grosses racines		Sol		Total
1P	35, 6*	6,4	3,4	1,4	8,9	4,5	2,4	1,0	¹ 14, 2	0,8	81,0	9,2	144,7 a
1K	0,0	0,0	1,9	0,9	0,2	0,2	3,4	1,4	0,0	0,0	97,5	9,7	103,0 b
2P	13, 1	6,2	0,0	0,0	3,0	1,3	1,1	0,4	² 3,9	2,5	61,0	3,6	82,1 c
2K	0,0	0,0	2,6	0,5	0,2	0,1	2,1	2,2	0,0	0,0	69,9	2,7	74,8 cd
2C	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	56,7	9,9	56,7 e
2E	18, 4	11, 3	0,0	0,0	3,3	1,7	1,1	0,4	4,9	3,5	50,8	9,5	78,5 c

Ttm : traitement, B : biomasse, 1 : Site d'Ambalavao, 2 : Site d'Andranolava

*Stock de carbone de biomasse arborée de pins avant exploitation.

P : plantation de pins, K : savane herbeuse, E : plantation d'eucalyptus, C : culture de manioc sur savane

(1) : méthode de bloc et dessouchage d'arbres (2) : méthode de bloc

Le chiffre en italique indique l'écart type. Une même lettre indique une absence de différence significative entre les systèmes étudiés au seuil de 5% d'après le test de Mann Whitney

En revanche, l'afforestation augmente le stock de carbone de la biomasse. Les bilans totaux de stock de carbone des forêts de pin avant exploitation, estimée à $144,7 \text{ MgC.ha}^{-1}$ et après exploitation, évaluée à $123,1 \text{ MgC.ha}^{-1}$, sont statistiquement supérieurs à ceux observés sous savane (figure 1). L'utilisation de *Pinus patula*, a permis un stockage de C plus important que l'Eucalytus, dans les conditions locales d'exploitation.

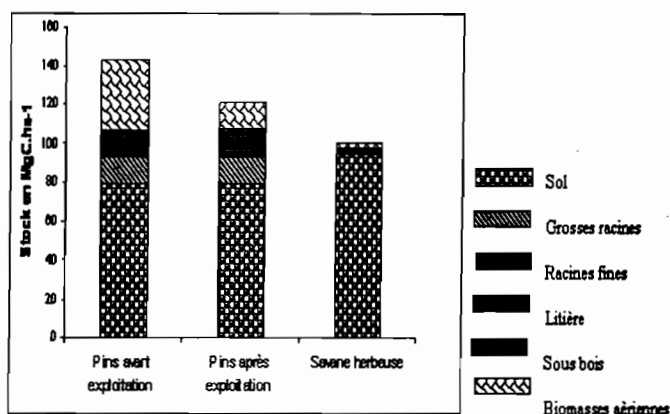


Figure 1 : Comparaisons du stock du carbone dans le sol et végétation avant et après exploitation (cas de pins à Ambalavao)

4. Conclusion

L'afforestation est un puits de carbone dans la zone étudiée. Mais ses performances sont, non seulement moyennes, mais dépendant fortement de la durabilité des peuplements. La filière carbone pourrait ainsi être développée dans la zone d'étude sous réserve que la population riveraine de la forêt soit impliquée directement au projet (accès aux crédits carbone, bénéfice et gestion de la plantation)

5. Références cités

- Barthès B., Kouakoua E., Sala GH., Hartmann C et Nyeté B., 1996 – Effet à court terme de la mise en culture sur le statut organique et d'agrégation d'un sol ferrallitique argileuse du Congo. Canadian Journal of Soil Science : 493-499.
- IPCC., 2001. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of Intergovernmental Panel on Climate Change.
- UPDR, 2003- Monographie de la Région du Vakinankaratra. 108p
- Levang P. & Grouzis M., 1980 - Méthode d'étude de la biomasse herbacée des formations sahéliennes : application à la Mare d'Oursi, Haute-Volta. Acta Oecologia, Oecol. Plant, 1(15), 3 : 231-244.
- Chapela Ignacio H., Laurie J. Osher, Thomas R. Horton, Matthew R. Henn., 2001 - Ectomycorrhizal fungi introduced with exotic pine plantations induce soil carbon depletion. Soil Biology & Biochemistry, 33 (2001) : 1733-1740.

Stocks de carbone du sol des zones de jachère du corridor forestier de Vohimana

Hery RAZAFIMAHATRATRA¹, Lilia RABEHARISOA²,
Alain ALBRECHT¹

¹ UR 179 SeqBio de l'IRD, Laboratoire des Radio Isotopes- Service de la Radio
Agronomie, Université d'Antananarivo, Route d'Andraisoro BP.3383, 101 Antananarivo,
Madagascar.

² Laboratoire des Radio Isotopes- Service de la Radio Agronomie, Université
d'Antananarivo, Route d'Andraisoro BP.3383, 101 Antananarivo, Madagascar.

1. Introduction

La forêt est considérée comme un réservoir important de carbone, notamment si les biomasses sont préservées. Les forêts originelles sont les systèmes contenant le plus de carbone. A l'image des forêts tropicales humides auxquelles appartient Vohimana, la quantité de carbone est de l'ordre de 150 t.ha⁻¹, cependant celle-ci peut atteindre 500 t.ha⁻¹ pour certaines forêts (LESCUYER, LOCATELLI, 1999). Pourtant, à Madagascar, avec la pratique du tavy, une grande partie des forêts est convertie en terrain de cultures puis laissée en jachère. La superficie initiale des forêts était estimée à 11,2 millions d'hectares aux alentours du IX^{ème} siècle, dont il n'est resté qu'un lambeau résiduel de 3,8 millions d'hectares en 1985. Ainsi, le mode de gestion des zones forestières détermine l'importance du stock total de carbone de ce milieu.

2. Matériels et méthodes

Cette étude a été menée dans le corridor forestier de Vohimana en 2006. Il s'agit d'une forêt tropicale humide sempervirente de l'Est de Madagascar dont les sols sont de type ferrallitique jaune et rouge moyennement désaturé. On pratique deux types de tavy dans la région : le tavy des forêts primaires dont les zones défrichées sont laissées en jachère après quelques années de culture et le tavy des zones de ces jachères sur lesquelles les prélèvements ont été effectués. Une approche synchronique a été adoptée avec un échantillonnage aléatoire dont le nombre de répétition est fixé à 4. Suite à l'identification des modes d'usage de terres par des interviews semi-directives auprès des paysans locaux, des échantillons de sol ont été prélevés sur 40 cm de profondeur à l'aide des cylindres de 250 cm³ et de 500 cm³. La densité apparente du sol, la granulométrie par décantation et sédimentation successives, et le carbone organique avec la méthode de Walkley et Black ont été mesurées. La différence en densité apparente du sol ne permet pas de réaliser une comparaison des stocks de carbone. Par conséquent, on a utilisé la masse équivalente qui est un indicateur plus pertinent sur lequel se basent tous les calculs du stock de carbone (ELLERT ET BETTANY, 1995). La masse de sol la plus faible est prise comme masse de référence, puis les stocks sont calculés sur une profondeur équivalente de 0- 40 cm. Les résultats ont été testés statistiquement par le biais du test *t* de Student de comparaison de moyenne.

3. Résultats

Le tableau ci-après montre les différents types de jachères avec leurs caractéristiques et les stocks de carbone du sol sur une profondeur équivalente de 0-40 cm avec celui des forêts primaires comme référence:

Mode d'usage des terres	Description	Date du premier tavy	Caractéristiques	Stock de C du sol (MgC.ha ⁻¹)
F	Forêt		Forêt originelle	93,19
J1	Jachère de 1 à 3 ans	1936	nombre de tavy = 3	71,36
J2	Jachère de 4 à 7 ans	1935	Nombre de tavy = 2	74,67
J3	Jachère de 8 à 12 ans	1936	Nombre de tavy = 5	68,87
J4	Jachère de plus de 12 ans	1936	Nombre de tavy = 3	97,62
JP	Jachère à <i>Psidia altissima</i>	1935	Jachère de 13 ans - nombre de tavy = 4	102,65
Jlm	Jachère à <i>Imperata cylindrica</i>	1935	Jachère de 6 ans - nombre de tavy = 4	68,07
CCM	Culture continue de manioc	1930	Sans labour - défrichement à plusieurs reprises	72,98

Source: Razafimahatratra (2006)

Les résultats des stocks de carbone du sol montrent que les jachères présentent une tendance de stockage élevée en fonction de leur âge. Pour le cas des forêts, une quantité importante de litière a été constatée dont les stocks de carbone s'élèvent à 33,19 MgC.ha⁻¹ sur une profondeur équivalente de 10 cm. Le stock le plus élevé est observé sur des jachères de plus de 10 ans (JP, J4). Par rapport aux jachères de moins de 3 ans (J1), les jachères à *Psidia* permettent des stocks supplémentaires de 31,29 Mg.ha⁻¹.

Figure 1 : Stock de carbone sur une profondeur équivalente de 0-40 cm et stock de carbone de la litière sur 10cm

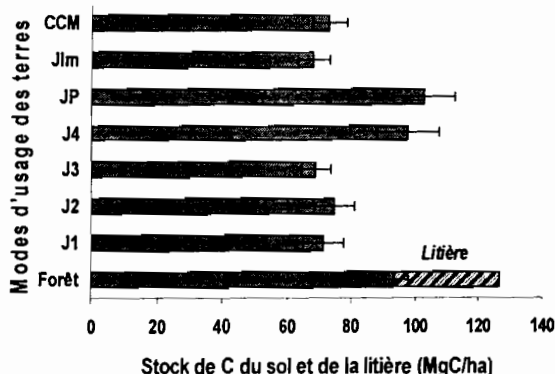
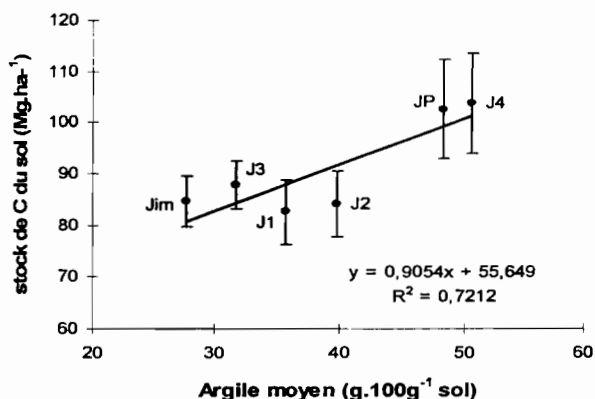


Figure 2 : Relation entre stock de carbone et teneur en argile du sol



4. Discussions

Les stocks obtenus montrent que la présence des forêts originelles ne se traduit pas par un stock de carbone du sol exceptionnellement élevé. Sans la litière, les sols forestiers ont des stocks similaires aux jachères de longue durée. On peut ainsi atteindre les stocks de carbone des sols forestiers, considérés ici comme référence, en augmentant la durée des jachères. Le facteur « âge des jachères » constitue un déterminant des stocks, ces derniers augmentent avec l'âge. L'évolution de la végétation colonisant les zones de jachères est aussi étroitement liée à sa durée. Les jachères de longue durée qui présentent les stocks les plus élevés, sont caractérisées par des formations arborées, par contre, celles de courte durée par des végétations herbacées. Le niveau de restitution de biomasse au sol est beaucoup plus important pour les formations arborées grâce à la quantité importante de litière et des racines. Pour les sols tropicaux bien drainés à argile cristallisé (type 1/1 ou 2/1), comme c'est le cas pour Vohimana, les stocks de carbone dépendent fortement de la texture, notamment des teneurs en argile et limon fin et ceci tant en milieu naturel que cultivé (FELLER et al., 1996). L'« effet texture » est constaté ce qui justifie les stocks élevés des jachères de longue durée dont le taux en argile moyen est plus élevé par rapport aux autres. Pour un même type de sol, à Ambalavao dans la province de Fianarantsoa, les stocks de carbone du sol sur une profondeur équivalente de 0-40cm s'élève à 97,5 MgC.ha⁻¹ sous savane herbeuse et 81,0 MgC.ha⁻¹ sous plantation de pin (RAZAFINDRAMANANA, 2006). A Manakara dans le Sud-Est, ils s'élèvent à 76,08 MgC.ha⁻¹ sur des parcelles de riziculture pluviale avec labour conventionnel et 78,52 MgC.ha⁻¹ sur des systèmes en semis direct d'une culture de riz pluvial associée aux *Stylosanthes guyanensis* (RAVELOJAONA, 2006). La comparaison de ces résultats permet de conclure que la potentialité de stockage de carbone du sol du corridor de Vohimana n'existe que pour des jachères de longue durée.

5. Conclusion

En termes de stock de carbone, les forêts ont un avantage grâce à la présence d'une quantité importante de litière. Dans le sol, on peut atteindre les stocks des sols forestiers avec des jachères forestières de longue durée. A part la texture du sol notamment la richesse en argile, les facteurs « âge des jachères » et « végétation arborée » constituent aussi les principaux déterminants des stocks de carbone du sol des zones de jachères du corridor de Vohimana.

6- Références

- Ellert B. H., Bettany J. R., 1995 - Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. *Canadian Journal of Soil Science*, 75, 529-538.
- Feller C., Albrecht A., Tessier D., 1996 - Aggregation and organic matter storage in kaolinitic and smectitic tropical soils. In: *Structure and organic matter storage in agricultural soils*. Carter M. R. et Stewart B. A. (Eds). CRC Press, New York.
- Lescuyer G., Locatelli B., 1999. Rôle et valeur des forêts tropicales dans le changement climatique. *Bois et Forêts des Tropiques*, 260 : 5 -18.
- Razafimahatratra H., 2006. Evaluation des stocks de carbone du sol sous différents modes d'usage des terres dans le corridor forestier de Vohimana (District de Moramanga). Mémoire de DEA, Université d'Antananarivo, Madagascar, 93 p.
- Razafindramanana N., 2006. Afforestation et stockage de carbone en lisière Ouest du corridor forestier de Fianarantsoa. Mémoire de DEA, Université d'Antananarivo, Madagascar, 75 p.
- Ravelojaona H., 2006. Effet du semis direct sous couverture végétale permanente (SCV) sur le stock en carbone dans le sol : Cas du Sud-Est Malagasy, Manakara. Mémoire d'Ingéniorat, Athénée Saint Joseph Antsirabe, Madagascar, 89 p.

Le potentiel de stockage de carbone du semis direct en comparaison d'autres techniques culturales

Tiphaine CHEVALLIER¹, Aurélie METAY², Dominique ARROUAYS³,
Jerome BALESSENT, J.⁴, Jean Claude GERMON⁵, Bruno MARY⁶,
Jean ROGER-ESTRADE⁷

¹UR SeqBio, IRD, 2 place Viala Bât. 12, F-34060 Montpellier Cedex

²ISTOM, 32, bd du Port F- 95094 Cergy

³INRA Unité Infosol, avenue de la Pomme de Pin Ardon, F- 45166 Olivet

⁴UR Géochimie des Sols et des Eaux Europole méditerranéen de l'Arbois, BP 80 F-13545 Aix-en-Provence cedex 04

⁵Centre de Microbiologie du Sol et de l'Environnement, 17 rue Sully F-21034 Dijon cedex

⁶Rue Fernand Christ - F-02007 Laon cedex

⁷INA-PG Centre de Grignon UMR d'Agronomie BP 01 F- 78850 Thiverval-Grignon

1. Introduction

A l'échelle mondiale, les sols continuellement cultivés représentent environ 700 milliards d'ha. Toute modification de la gestion des sols perturbe le cycle du carbone, ce qui se répercute sur les quantités stockées dans les sols. Les pertes de carbone par les sols sont attribuables à l'exportation de carbone via les récoltes, et à la respiration de la microflore du sol souvent amplifiée par les techniques culturales conventionnelles (labour). Lorsque les sols sont cultivés pendant quelques décennies (environ 20 ans), les pertes de carbone s'estompent ou cessent complètement et les quantités stockées dans le sol se stabilisent à nouveau. Pour augmenter ce stock, on peut soit augmenter le niveau des restitutions organiques, soit adopter des pratiques culturales limitant les pertes de carbone par minéralisation (Lal, 1997). Dans le contexte actuel de changement climatique et de mise en place de mesures susceptibles de ralentir l'accentuation de l'effet de serre, la question de l'évolution du stock de carbone du sol et des possibilités d'augmenter ce stock est une question d'actualité (Paustian *et al.*, 2000 ; Smith *et al.*, 2005) à l'origine de l'importante synthèse d'Arrouays *et al* (2002). Parmi les modes de gestion des sols et des systèmes de cultures réputés comme améliorant le stock de carbone du sol, tels que les plantations sylvicoles, les prairies améliorées, la gestion des jachères, les pratiques agroforestières, les pratiques de non-brûlis (canne à sucre), l'adoption d'intercultures et de couvert végétale, les techniques culturales sans labour, occupent une place particulière. Ces techniques incluant notamment les pratiques de semis direct, ont été développées initialement pour lutter contre l'érosion en Amérique du Nord puis dans d'autres pays, notamment en Australie, au Brésil et en Argentine. L'objectif de cette étude essentiellement bibliographique est de comparer ces différentes techniques sur leur potentiel de stockage du carbone dans les sols tempérés. Une rapide comparaison des effets des techniques de semis direct sur le stockage de carbone dans les sols tempérés et les sols tropicaux sera faite.

2. Matériel et méthodes

Dans un contexte de développement de la recherche sur le réchauffement climatique, de nombreux articles de synthèse ont été consacrés aux effets des différents types de pratiques culturales sur l'évolution des stocks de C du sol. L'ensemble des résultats sont principalement repris de la synthèse réalisée par l'INRA (Arrouays *et al.*, 2002) et complétés par quelques données plus récentes (article Aurélie).

3. Résultats-Discussion

L'augmentation varie de 10 à 30 % du stock mesuré après la phase de déstockage consécutive à la mise en culture. Les coefficients de variation des potentiels de stockage de carbone des différentes pratiques culturales sont souvent supérieurs à 50 %. Le peu d'essais agronomiques fiables sur le long terme accentue l'incertitude lié à ces potentiels. Ceci explique pourquoi le niveau de stockage de carbone observé dans le seul essai conduit en France permettant d'évaluer de façon fiable le bilan de C sous semis direct (Boigneville, $+0.1-0.5 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$) est nettement inférieur au potentiel mis en avant par les études anglosaxonnes $+0.3 \text{ à } 0.4 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$). Les pratiques conduisant aux potentiels les plus élevés sont les pratiques privilégiant les restitutions organiques au sol élevées (enherbement des cultures pérennes, conversion de sols cultivés en prairie ou en forêt $+0.5 \text{ tC ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ sur 20 ans). Cependant, compte tenu de l'ordre de grandeur des surfaces en jeu, le semis direct et le développement des cultures intermédiaires sont des pratiques culturales essentielles à prendre en compte. Les principales limites agronomiques de l'adoption du non labour sont le développement d'adventices et le compactage du sol, un travail superficiel du sol ou un labour une année sur 4 peut limiter ces effets négatifs tout en gardant un potentiel de stockage de carbone correct (Metay *et al.*, 2007 ; Arrouays *et al.* 2002).

Diverses études effectuées en milieux tropicaux rapportent des effets généralement positifs des systèmes en semis direct sur le stockage du C dans le sol. Six *et al.* (2002) rapportent des valeurs moyennes de stockage de C sous systèmes SCV de l'ordre de $0.35 \text{ Mg.ha}^{-1}\text{an}^{-1}$, tant pour les sols tempérés que tropicaux. Des travaux, effectués majoritairement au Brésil rapportent des valeurs de stockage de C variant de 0 à $1,6 \text{ Mg.ha}^{-1}\text{an}^{-1}$ à 0-20 cm de profondeur (Bernoux *et al.*, 2006). De même, à Madagascar, Razafimbelo (2005) montre des teneurs en C significativement plus élevées sous systèmes non labourés par rapport aux sols labourés (sur 0-20 cm $+ 0,7 \text{ à } 1,0 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$). Ce stockage de carbone en non labour est davantage attribué à l'importante quantité de biomasse restituée par ces systèmes plutôt qu'à une diminution des sorties de carbone par minéralisation.

Tableau 1. Comparaison des différentes pratiques culturales pour des sols tempérés (d'après Arrouays *et al.* 2002).

Pratiques	Effets					
	Sur les entrées de carbone	Sur les sorties de carbone	Environnement /agronomie		Potentiel en F	Flux de stockage additionnel (20 ans) tC ha ⁻¹ an ⁻¹
Non labour	Production légèrement -	- Protection C	Erosion -	+ pesticides + N ₂ O Compactage du sol	3,6-9 millions ha	0,15 ± 0,13
Restitutions des résidus de culture	+ 3tC ha ⁻¹ an ⁻¹				Se fait déjà	0,03-0,15
Restitutions des effluents d'élevage	+	+ par apport d'N		Oui si apports excessifs	Se fait déjà	
Culture intermédiaire (engrais vert)	+		Erosion - Fuites de nitrates	Organisation du travail	0,5-2,5 millions d'ha	0,16 ± 0,06
Fertilisation accrue	+ (mais peu à gagner)	+ apport de N		Risques de pollution	Se fait déjà	0,17 ± 0,1
Irrigation		+ apport d'eau		Consommation eau Risques de lessivages		0 ± 0,05
Apports organiques exogènes (déchets)	+	+		Eléments traces métalliques Eco toxicologie ?	Peu de gisement.	0,23 à 0,55 tC / tC apportée
Enherbement des vignes et vergers	++	-	Erosion -	Consommation eau	0,2-0,6 millions d'ha	0,49 ± 0,26
Conversion en prairie permanente	++	-	Biodiversité +		0,01-0,06 ha/an	0,44 ± 0,24
Afforestation	++	-	Biodiversité +	Fermeture du paysage	0,03-0,08/an	0,45 ± 0,25

4. Conclusion

Il apparaît qu'en l'état actuel des connaissances, les techniques culturales sans labour favorisent globalement le stockage de C en milieu tempéré et tropical. Cependant il existe peu d'essais agronomiques permettant d'évaluer de façon fiable et sur le long terme le bilan de matière organique. Il convient par ailleurs de garder à l'esprit que l'effet globalement positif de ces pratiques sur le stockage du carbone dans le sol, pourrait être annulé par : (i) un déstockage généralisé du carbone sur le long terme sous l'effet du changement climatique, déstockage plus marqué dans les sols riches en carbone et indépendant du niveau de protection du C (Bellamy *et al.*, 2005) ; (ii) des émissions de N₂O ou du CH₄ (Six *et al.*, 1999), susceptibles de contrebalancer l'effet positif de ce stockage (Nicolardot & Germon, 2007). Le semis direct induit des modifications profondes des états et du fonctionnement du sol : il est donc nécessaire de mieux comprendre ses effets sur l'environnement et la qualité des récoltes.

Références

- Arrouays, D., Balesdent, J., Germon, J. C., Jayet, P. A., Soussana, J. F. and Stengel, P. 2002. Stocker du carbone dans les sols agricoles de France. INRA Editions. 332 pp.
- Bellamy, P.H., Loveland, P.J., Bradley, R.I., Lark, R.M. & Kirk, G.J.D, 2005. Carbon losses from all soils across England and Wales 1978-2003. *Nature* 437, 245-248.
- Bernoux, M., Cerri, C. C., Cerri, C. E. P., Siqueira Neto, M., Metay, A., Perrin, A. S., Scopel, E., Razafimbelo, T., Blavet, D., Piccolo, M. C., Pavei, M. and Milne, E. 2006. Cropping systems, carbon sequestration and erosion in Brazil, a review. *Agronomy for Sustainable Development*. 26: 1-8.
- Lal, R. 1997. Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO₂-enrichment. *Soil & Tillage Research* 43: 81-107.
- Metay 2007
- Nicolardot et Germon, 2007
- Paustian, K., E.T. Elliott, J. Six and H.W. Hunt. 2000. Management options for reducing CO₂ emissions from agricultural soils. *Biogeochemistry* 48:147-163.
- Razafimbelo, T. 2005. Stockage et protection du carbone dans un sol ferrallitique sous systèmes en semis direct avec couverture végétale des hautes terres malgaches. PhD Thesis, Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie de Montpellier, Montpellier. 132 pp.
- Six, J., Feller, C., Denef, K., Ogle, S., de Moraes, J. C. and Albrecht, A. 2002. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils - Effects of no-tillage. *Agronomie*. 22: 755-775.
- Six J., Elliott E.T., Paustian K. 1999. Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63, 1350-1358.
- Smith, P., Andren, O., Karlsson, T., Perala, P., Regina, K., Rounsevell, M., Van Wesemael, B., 2005. Carbon sequestration potential in European croplands has been overestimated. *Global Change Biology*, 11: 2153-2163.

Matière organique du sol et productivité végétale sous différentes pratiques agricoles : essai de longue durée et modélisation de la dynamique du carbone dans un environnement soudano-sahélien

Edmond Hien¹, Francis Ganry², Robert Oliver², Dominique Masse³,
Christian Feller³, Jérôme Balesdent⁴

¹Université de Ouagadougou, UFR/SVT, 03 B.P. 7021 Ouagadougou 03 Burkina Faso ;
E-mail : hien@ird.bf

²CIRAD TA 40/01 Avenue Agropolis 34393 Montpellier Cedex 5 France

³IRD, Centre de Madagascar BP 434, 101 Antananarivo, Madagascar

⁴INRA, UR 1119 Géochimie des Sols et des Eaux, F-13545 Aix-en-Provence

1. Introduction

Sous les conditions soudano-sahéliennes, le taux de carbone organique des sols est un élément essentiel de la fertilité des sols. En raison du faible statut en nutriments et la contrainte de sécheresse pour la végétation, le stockage de la matière organique du sol est un facteur important qui contribue à l'amélioration de la productivité dans un schéma de rétroaction positive. Les principales fonctions de la matière organique des sols sont le maintien des bases échangeables, le stockage de P disponible et N, la contribution significative à la rétention en eau et à l'environnement physique favorable pour les semences et des racines (Balaya et al. 2002, Bationo et Buerkert, 2004, Mando et al. 2005). Les données de longue durée sur l'évolution du carbone organique du sol dans ces régions sont très rares et les modèles actuels de carbone n'ont pas été testés. L'objectif de notre étude est d'évaluer les stocks de C dans les sols et de montrer les mécanismes concernés, sous l'action des pratiques agricoles.

2. Matériel et méthodes

Cette étude est basée sur l'essai longue durée de Saria (Burkina Faso), mis en place en 1960 (Sedogo, 1993). Les traitements étudiés font varier les taux de fertilisation minérale et animale, de paille, de compost ou de fumier et comprennent aussi des pratiques de travail du sol (grattage et labour) sous culture continue de sorgho. Le sol est un acrisol ferrique ; La température moyenne de la zone est de 28,0 °C et la pluviométrie moyenne annuelle de 800 mm. La durée du déficit hydrique du sol est 8 à 9 mois. Les déterminations comprennent: (1) sur le terrain: la caractérisation morphologique du sol, la densité apparente et les rendements des cultures, (2) au laboratoire, la caractérisation de la matière organique (composition biochimique), C, N du sol et le fractionnement granulométrique. Le modèle RothC 26.3 (Coleman et Jenkinson, 1999) a été utilisé pour simuler la dynamique du carbone de plusieurs traitements en utilisant les paramètres par défaut des données.

3. Résultats et discussion

Le stock de C évalué dans la jachère herbacée non détériorée sur ce type de sol est de $20,6 \text{ t ha}^{-1}$ dans l'horizon 0-20 cm. La culture continue avec labour et le faible niveau d'apport de la MOS ont entraîné une diminution des stocks de C de 42, 44 et 68% par rapport à la jachère herbacée initiale, respectivement après 10, 20 et 40 ans de culture continue. Les pratiques testées les plus efficaces comprenant des apports organiques élevés ont permis de maintenir 45 à 90% du stock de carbone de la jachère, en fonction de la durée de l'expérimentation. Les fractions grossières de la matière organique présentent la plus forte variation dans le temps. Lorsque le fumier est apporté simultanément avec l'engrais N, cela favorise un stockage préférentiel de C dans les fractions fines, attestant l'intérêt de cette pratique sur la stabilisation de la MOS.

La définition d'une valeur critique de C dans le sol comprise entre 6 et 7 mg C g^{-1} est confortée par les résultats convergents de deux approches : l'analyse des rendements du sorgho par la méthode de « la courbe enveloppe » et la définition d'une valeur seuil de C pour la durabilité des systèmes (Feller, 1995) qui donnent respectivement environ 6 et 6,8. En deçà de 6 mg C g^{-1} les rendements chutent, au delà ils sont stabilisés.

Le modèle RothC (horizon 0-20 cm) simule avec succès les parcelles présentant les plus grandes diminutions et les plus faibles teneurs en C. Il surestime le stock de C dans les parcelles avec apport de fumier et donc le potentiel à maintenir de hauts niveaux de C. Certains paramètres du modèle, notamment les modificateurs climatiques de la décomposition et la non linéarité, devraient être révisés. Nous observons une forte perte de matière dérivée du fumier (évaluée à 67%). Nous avons imputé cette perte à l'activité de la macrofaune du sol, qui transporte le carbone dans les horizons profonds diluant ainsi les horizons de surface avec ceux de profondeur, en plus probablement du mouvement du C soluble. Un tel effet négatif des ingénieurs du sol (les termites) notamment l'activité sur le niveau de carbone dans les horizons de surface est encore mal connu et appelle à davantage de recherches.

4. Conclusions

Accroître significativement le stockage de C dans le sol est possible à partir des pratiques usuelles mais nécessite leur optimisation. Cette étude débouche sur des actions possibles mais conclut à la nécessité de prendre en compte les activités macrofaunique et microbienne de ce sol en interaction avec les MO apportées pour mieux maîtriser les flux et le bilan organiques.

5. References

- Bayala, J., Teklehaimanot, Z., Ouedraogo, S.J. 2002. *Agroforestry Systems* 54, 203-214.
- Bationo A., Buerkert. A. 2004. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 61, 131-142.
- Coleman K & DS Jenkinson DS. 1999. ROTHC-26.3. November 1999 issue. IACR - Rothamsted Harpenden Herts. ISBN 0 9514456 8 5
- Mando, M. Bonzi, M.C.S. Wopereis, F. Lompo, L. Stroosnijder. 2005. *Soil Use and Management* 21, 396-401
- Sedogo p.m., 1993 Thèse de Doctorat es-Sciences – Mention Sciences naturelles. Université d'Abidjan (C.I.) Février 1993 - 330 pages.

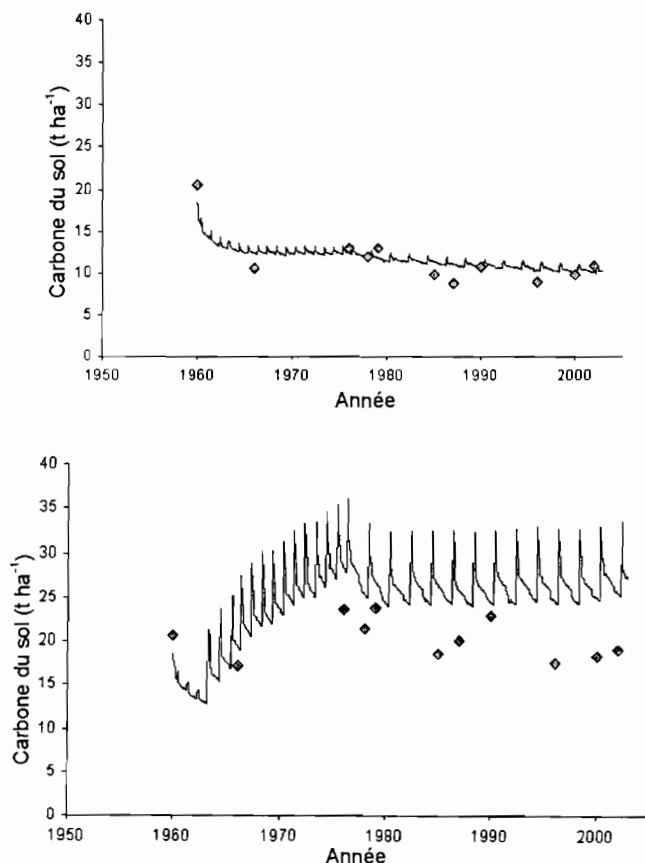


Figure : Comparaison entre l'observation et la simulation par le modèle RothC du stock de carbone organique de la couche 0-20 cm du sol de l'expérimentation de longue durée de Saria (Burkina-Faso) pour deux parcelles : sans (gauche) et avec (droite) apport de fumier.

Emission *in-situ* de N₂O d'un ferralsol argileux Malgache cultivé sous SCV ou labour

Michel RABENARIVO¹, Julien ANDRIAMIARAMIANTRAHERANA²,
Roger MICHELLON³, Narcisse MOUSSA³, Alain BRAUMAN⁴, Joële
LOURI-TOUCET⁴, Lydie CHAPUIS-LARDY¹

¹ IRD UR179 SeqBio / LRI-SRA – Université d'Antananarivo- BP 434, 101 Antananarivo, Madagascar

² ESSA, département Agronomie, BP 175, Campus Universitaire, 101 Antananarivo, Madagascar

³ ONG Tafa, BP266, 110 Antsirabe, Madagascar

⁴ IRD UR179 SeqBio, 2 place Viala, bâtiment 12, 34060 Montpellier cedex 1, France (Michel.Rabenarivo@ird.fr)

1. Introduction

Le Semis direct sur Couverture Végétale (SCV) est une pratique développée à Madagascar par l'ONG Tafa (*Tany sy Fampandrosoana*) depuis une quinzaine d'années, afin de mieux protéger le sol contre l'érosion et de restaurer sa fertilité (Séguy et al., 2001 ; Six et al., 2002). Cette pratique en stockant du C dans le sol (Razafimbelo et al., 2006) permet de réduire l'émission de CO₂ du sol vers l'atmosphère. L'oxyde nitreux (N₂O) est un puissant Gaz à Effet de Serre (GES)- avec un potentiel de réchauffement 296 fois plus élevé que celui du CO₂ - et doit donc être inclus dans le bilan si on veut pouvoir parler du SCV comme pratique culturale permettant la séquestration du C. La nitrification et la dénitrification sont les principaux processus de production du N₂O dans le sol. Ces réactions sont notamment conditionnées par l'oxygénation du sol (inversement proportionnelle à sa teneur en eau), les teneurs en azote minéral et en carbone. L'objectif de notre étude est d'évaluer (1) si un sol ferrallitique argileux cultivé des Hautes Terres Malgaches est fortement ou faiblement émetteur de N₂O (2) l'impact du système de culture adopté (SCV ou labour) sur les niveaux d'émission.

Notre étude a été réalisée avec le soutien du projet MUTEN *Modes d'utilisation des terres et flux de N₂O : Caractérisation des déterminants du fonctionnement des communautés dénitrifiantes* (2005-2007) (cf. communication de Chapuis-Lardy et al.).

2. Matériels & méthodes

Le site expérimental Tafa à Bemasoandro permet la comparaison SCV (mulch) – labour traditionnel (sans restitution des résidus de récolte). Les différentes mesures ont été réalisées sous culture de soja ayant reçu une fertilisation organo-minérale (3 parcelles par système de culture). Une cinétique de dégagement du N₂O a été réalisée par piégeage du gaz émis par le sol dans des enceintes statiques (volume 3,5 L). Les échantillons de gaz recueillis ont été analysés au Chromatographe en Phase Gazeuse (CPG-ECD Varian CP3800). Parallèlement, la dynamique de l'eau dans le sol a été suivie à l'aide d'une batterie de tensiomètres. Le prélèvement d'échantillons de sol (0-10 cm) a permis l'analyse des teneurs en eau et en azote minéral (extraction KCl).

3. Résultats & discussion

3.1. Tensiomètre, humidité du sol & teneurs en azote minéral

La droite de régression entre l'humidité pondérale et les valeurs de tensiomètre montre une corrélation positive (tous systèmes confondus ; $n = 36$; $r^2 = 0,79$). Les valeurs d'humidité pondérale des échantillons de sol sont comprises entre 18.6 % et 62.7 %. Les valeurs des tensiomètres varient de -250 à 0. Un tensiomètre affichant une valeur zéro témoigne d'un sol saturé en eau, ce qui correspond par simplification à 100 % de remplissage du volume poral (Water Filled Pore Space, WFPS %). Ce paramètre peut donc être estimé : Lorsque ce sol a une humidité pondérale > 35 %, le WFPS est alors considéré comme > 60 %.

La teneur en azote minéral est faible (1,77 à 3,42 mg N.kg⁻¹ sol) et pas significativement différente entre deux systèmes.

3.2. Emissions N₂O et relations avec les facteurs de contrôle potentiels

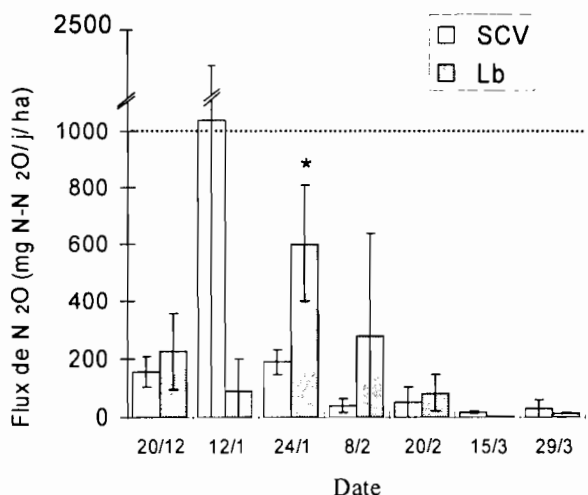


Figure 1. Les émissions de N₂O sous SCV et labour, sur l'ensemble de la période culturale.

Les émissions de N₂O sont en moyenne comprises entre 2,28 et 1037,43 mg N-N₂O j⁻¹ha⁻¹ sur l'ensemble de la période culturale (Figure 1). Ces valeurs sont faibles par rapport à ce qui est reporté en général dans la littérature pour d'autres systèmes mais du même ordre de grandeur que celles de Métay (2005) obtenues pour des sols ferrallitiques brésiliens cultivés sous SCV et labour. De faibles teneurs en N minéral peuvent expliquer une faible émission de N₂O (Pinto et al., 2002).

La quantité de N_2O émis par le sol est fonction des quantités de pluies tombées la veille et cumulées sur la saison. Ceci peut s'expliquer par le fait que le N_2O est émis principalement par dénitrification lorsque les sols ont un WFPS > 60 % (Davidson, 1991).

La figure 1 montre plutôt une tendance supérieure à l'émission de N_2O pour les parcelles labourées par rapport aux SCV mais cette différence n'est significative (test t) que pour une date (24 janvier). Les mesures de N_2O sont réputées pour être variables dans le temps et dans l'espace d'où la difficulté de les mesurer sous enceinte statique ; ceci est visible à travers la variabilité de la mesure du 12 janvier.

4. Conclusions

Le sol ferrallitique argileux de Bemasoandro est très peu émetteur de N_2O ($< 1 \text{ g N-N}_2\text{O.j}^{-1}.\text{ha}^{-1}$). Des résultats analogues ont été obtenus sur un autre sol ferrallitique argileux de la région (Andranomanelatra). Sans pouvoir tirer de conclusion très marquée (1 campagne de mesures, 7 dates, 3 enceintes par traitement), le SCV semble être une pratique culturale qui, comparé au labour, peut contribuer à une diminution ou du moins à un maintien du niveau d'émission de N_2O du sol ferrallitique étudié. De telles émissions extrapolées à l'année ne mettent pas en péril le bilan positif de séquestration de C sous SCV.

5. Références

- Davidson E.A. (1991). Fluxes of nitrous oxide and nitric oxide from terrestrial ecosystems. In Microbial Production and Consumption of Greenhouse Gases : Methane, Nitrogen oxides and Halomethanes. J. E. Rogers and W. B. Whitman (Eds), pp. 219-234. ASM Press, Washington.
- Metay A (2005). Carbon sequestration and greenhouse effect gases fluxes. Comparison between no-tillage system and conventional system in the Brazilian Cerrados. Thèse INA-PG, Paris.
- Pinto, A. S. et al. (2002). Soils emissions of N_2O , NO and CO_2 in Brazilian Savannas : effects of vegetation type, seasonality and prescribed fires. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 107 (D20), 80-89.
- Razafimbelo T.M. et al. (2006). Effet de différents systèmes de culture à couverture végétale (SCV) sur le stockage du carbone (C) dans un sol ferrallitique argileux des Hautes Terres de Madagascar. Etude et Gestion des Sols 13, 113-117.

Les sols sous eucalyptus des Hautes Terres centrales malgaches sont-ils des puits de carbone ?

Herintsitohaina RAZAKAMANARIVO¹,
Marie Antoinette RAZAFINDRAKOTO², Alain ALBRECHT¹

¹ Laboratoire de Radio-Isotopes, Service de la Radio Agronomie (LRI/SRA)-UR179 SeqBio, Université d'Antananarivo, Route d'Andraiso BP 3383, 101 Antananarivo, Madagascar

² Département des Eaux et Forêts ; Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, Université d'Antananarivo, BP 175, 101 Antananarivo, Madagascar

1. Introduction

Les sols constituent l'un des principaux réservoirs de carbone (C) de l'écosystème terrestre (Robert, 2001 ; Robert et Saugier, 2003). Ils peuvent ainsi avoir une fonction de « puits » de carbone et contribuent à l'atténuation des effets des gaz à effet de serre. Mais, ces stocks de C du sol dépendent du mode d'usage des terres. Les plantations forestières, avec leur âge, sont reconnues pour avoir un effet sur l'augmentation du stock du sol, (Paul et al., 2001 ; Guo et Gifford, 2002; Lal 2005). Le but du présent travail est d'analyser les potentialités en terme de stockage de carbone dans les sols sous plantations d'eucalyptus sur les Hautes Terres Centrales Malgaches.

2. Matériels et méthodes

2.1 Milieu d'étude : La Commune Rurale de Sambaina (district de Manjakandriana) se trouve à 40 km d'Antananarivo suivant l'orientation Nord-Est (figure 1), entre 47°45'10"E – 47°48'28"E et 18°51'10"S – 18°56'10"S et à l'altitude de 1350 à 1750 m. Le climat est du type subtropical humide avec une pluviométrie moyenne annuelle de 1600 mm et une température moyenne annuelle de 14,4°C. Le paysage est marqué par les peuplements d'eucalyptus qui couvrent jusqu'à plus de 50% des 3.000 ha de la Commune. Les sols de la région sont des ferralsols (sols ferrallitiques jaune sur rouge).

2.2 Méthodologie : Une étude comparative est menée entre des parcelles plantées en eucalyptus (*E.robusta*) de 88 à ± 100 ans et des parcelles adjacentes en culture (rotation culture/jachère). Ces usages de terre sont donc comparés par une approche couramment utilisée : l'approche synchronique (Paul et al., 2001; Turner et Lamber, 2000 ; Landais, 2003 ; Marcos, 2007). Les 6 parcelles (en bleu sur la figure 1), se trouvent dans 3 localités (nommées 2, 3 et 4) au niveau de la Commune et chaque parcelle présente 4 répétitions. Sur chaque répétition, les sols sont prélevés à l'aide de cylindres métalliques (8,1 cm de diamètre et de 5 cm de 10 cm de hauteur) sur de horizons de 0-5, 5-10, 10-20, 20-30 et 30-40 cm. La densité apparente (D_a) est estimée à partir de l'humidité à 105°C d'une aliquote de chacun des sols des cylindres. Le reliquat du sol est séché à l'air libre, tamisée à 2mm et broyée à 200 μ m pour l'analyse. Le carbone organique est mesuré par combustion par voie sèche. Une analyse statistique (ANOVA) est effectuée sur les stocks calculés à partir des D_a et des teneurs en C.

3. Résultats et discussions

Sur l'horizon 0-30 cm et à masse équivalente de terre fixée à $4000 \text{ Mg sol.ha}^{-1}$, les stocks de C du sol des 6 parcelles varient de $74,18 \pm 3,76$ à $104,67 \pm 10,39 \text{ Mg C.ha}^{-1}$. Au niveau de chaque localité, les 3 parcelles en culture présentent des stocks significativement faibles (max. $80,37 \pm 20,09 \text{ Mg C.ha}^{-1}$) par rapport aux parcelles sous eucalyptus, ceci à l'exception de la parcelle sous eucalyptus de 88 ans de la localité 2. On a ainsi une augmentation moyenne de $16,96 \pm 11,57 \text{ Mg C.ha}^{-1}$ des stocks sous eucalyptus par rapport à la pratique alternative actuelle au niveau de la Commune (rotation culture/jachère). Ce taux, correspondant à $2,25 \pm 0,70 \text{ Mg C.ha}^{-1}$ sur 0-20 cm à masse de terre fixée à $1500 \text{ Mg sol.ha}^{-1}$, est proche des chiffres de la littérature concernant l'afforestation des parcelles en culture qui est de $2,42 \pm 1,25 \text{ Mg C.ha}^{-1}$ sur le même horizon et la même masse de terre (Marcos, 2007).

En outre, d'autres mesures du stock de C dans le sol ont été effectuées sur 2 parcelles sous eucalyptus de 50 et de 111 ans (en rouge sur la figure 1) au niveau de 2 autres localités (respectivement 5 et 1) dans le but de voir un éventuel effet de la chronoséquence. Malgré une tendance à l'augmentation du stock de C dans le sol avec l'âge ($77,8 \pm 8,88$ pour la parcelle à 50 ans et $104,67 \pm 10,39 \text{ Mg C.ha}^{-1}$ pour celle de 111 ans), les 5 parcelles sous eucalyptus ne présentent pas de différence significative. Une régression linéaire multiple effectuée sur ces valeurs de stock de la chronoséquence montre une forte variabilité spatiale dont les déterminants restent à préciser.

4. Conclusion et perspectives

Les sols sous eucalyptus des Hautes Terres Centrales Malgaches constituent des puits de C par rapport à la pratique alternative actuelle (rotation culture/jachère). Par contre, ce ne serait pas seulement l'effet mode de gestion qui contribuerait à l'augmentation du stock dans le sol sous eucalyptus mais éventuellement l'effet « spatial » qui mérite d'être approfondis.

Figure 1 : Carte de localisation

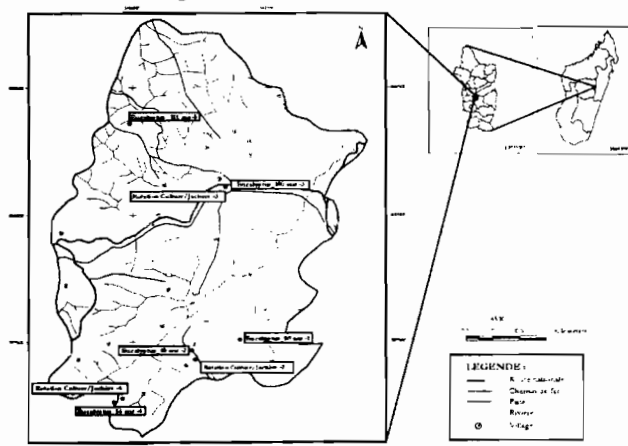
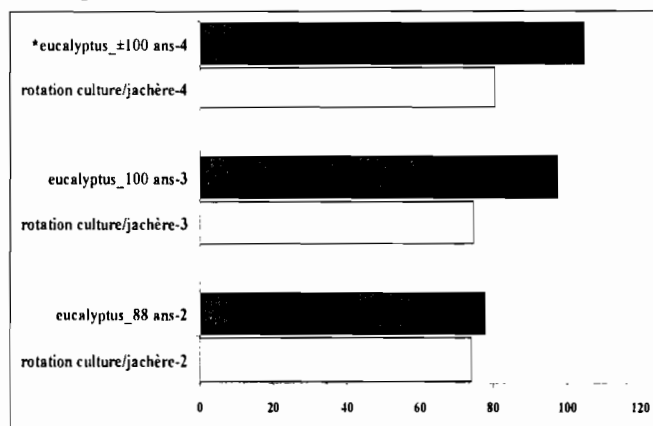


Figure 2 : Stock de carbone dans les 6 sites d'étude



5. Références

- Guo L.B., Gifford R.M., 2002. Soil carbon stocks and bulk density: spatial or cumulative mass coordinates as a basis of expression. *Global Change Biology*, 9, 1507-1514.
- Lal R., 2005. Forest soils and carbon sequestration. *Forest Ecology and Management*, 220: 242-258.
- Landais D., 2003. Etudes quantitatives et qualitatives du carbone séquestré dans le sol après afforestation au Congo Brazzaville, *Mémoire de stage de DESS en Sciences de l'Environnement*, 33 p.
- Marcos P., 2007. Méta-analyse du stockage de carbone organique du sols d'Amérique latine après reboisement. *Mémoire de stage de Master1 en Biologie, Géosciences, Agroressources, Environnement-Spécialité : Fonctionnement des Ecosystèmes Naturels et Cultivés*, 17p.
- Paul K.I., Polglase P.J., Nyakuengama J.G., Khanna P.K., 2002. Change in soil following afforestation. *Forest Ecology and Management*, 168: 241-257.
- Robert M., 2001. Soil carbon sequestration for improved land management. *World Soil Resources Reports-FAO 96*, 75p
- Robert M. et Saugier B., 2003. Contribution des écosystèmes continentaux à la séquestration du carbone. *C.R. Geoscience* 335:
- Turner J., Lamber M., 2000. Change in organic carbon in forest plantation soils in Eastern Australia. *Forest Ecology and Management*, 133: 577-595.

Carbon and nitrogen assessment in soils under unburned sugarcane using NIRS-LS-SVM models

Sandra Maria Oliveira SÁ¹, Christian FELLER², Marco Flores FERRÃO³, Marcelo Valadares GALDOS¹, Carla Maris Machado BITTAR⁴, Carlos Clemente CERRI¹, Roney Jesus POPPI⁵

¹ Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, 13400-970, Piracicaba SP, Brazil.

² Institut de Recherche pour le Développement, BP 434, 101 Antananarivo, Madagascar.

³ Departamento de Química e Física, Universidade de Santa Cruz do Sul, 96815-900, Santa Cruz do Sul RS, Brazil.

⁴ Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 13418-900, Piracicaba SP, Brazil.

⁵ Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, 13083-970, Campinas, SP, Brazil.

Corresponding authors: smolivei@cena.usp.br and christian.feller@ird.fr

1. Introduction

Near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) is a rapid, non-destructive, and non-polluting technology. This technique mainly measures overtones and combination bands of fundamental vibrations of O-H, N-H and C-H bonds relatives to several functional groups present in the organic compounds [1]. The use of NIRS for assessment of carbon and nitrogen, as well as, other soil properties and for evaluating changes of soil C and N stocks through time due to adoption of different management practices has been gaining attention in the scientific community. The aim of this work was to propose the use of NIRS associated with least square support vector machine (LS-SVM) as a methodology to quantify total carbon and nitrogen concentrations in soil samples under unburned sugarcane. Also, a comparative study between LS-SVM and PLS regression is presented.

2. Experimental

A total of 250 soil samples in 10 cm increments up to 100 cm depth were collected in an area with a long term history of unburned sugarcane in Brazil, at the São Martinho mill, in Pradópolis, São Paulo State. The soil in the area is classified as a clayey Oxisol. A chronosequence of plots where sugarcane had been cropped for 2, 4, 6 and 8 years without pre-harvest burning (235 samples) was studied. An adjacent area of native forest was sampled as a reference (15 samples). Reference analyses were performed by dry combustion on a LECO CN 2000 elemental analyzer. NIRS spectra were recorded on a NIRS 5000 scanning monochromator (Foss NIRSystems, MD). Samples were scanned in a spinning micro sample cup and the spectra were recorded at 2-nm intervals in the range of 1100 - 2498 nm by using WinISI II version 1.05 software (Infrasoft International, Silver Spring, MD) for data acquisition. A ceramic standard was used for the background spectra and the spectra was collected as $\log(1/R)$.

where R is the reflectance. For NIR calibration, two multivariate regression methods were used: (i) PLS using the PLS program from PLS-Toolbox version 3.5 with Matlab from Eigenvector Research Inc.[2]; and (ii) LS-SVM using the LS-SVMlab (Matlab/C Toolbox for Least Squares Support Vector Machines)[3].

3. Results and discussion

Multiplicative scatter correction (MSC) was performed to correct the baseline drift between the spectra. The three most important principal components PC_1 , PC_2 and PC_3 explained 99.90% of the data variance. Table 1 presents the results for LS-SVM and PLS models for total-C and total N determination, respectively. In the range of 0.401-3.101 %, for total-C, and 0.030-0.252 %, for total-N suitable models were developed using LS-SVM compared with PLS regression, with low prediction errors, indicated by root mean square errors of cross-validation (RMSECV) and prediction (RMSEP). All two methods can give satisfactory prediction results both for training and prediction sets, and the most accurate model was obtained by the LS-SVM approach through the comparison of performance.

Table 1. Performance results comparison between PLS and LS-SVM for total-C and total-N quantification.

	total-C			total-N	
	PLS(6)	PLS(11)	LS-SVM	PLS	LS-SVM
R^2_{cal}	0.7842	0.9379	0.9772	0.8775	0.9748
RMSEV (%)	0.1498	0.1388	0.1139	0.0099	0.0078
RMSEP (%)	0.1459	0.1438	0.1036	0.0098	0.0082
LV ^a	6	11	-	9	-
γ	-	-	2350	-	1300
σ^2	-	-	1200	-	1600

4. Conclusions

The diffuse reflectance spectroscopy in the near infrared region with data treatment by LS-SVM can be used with advantages as an analytical method for rapid, accurate, reliable and cost-effective routine analysis of soil total carbon and nitrogen. The total carbon stocks, after correction for density differences were also higher in the areas with eight years of green cane (unburned) management.

5. References

- Murray, In: A. Davies, R.D. Baker, S.A. Grant, A.S. Laidlaw (Eds), Forage analysis by near infrared spectroscopy, Sward Herbage Measurement Handbook, Vol.14, British Grassland Society, Reading, UK, 1993, pp.285-312.
- B. M. Wise, N. B. Gallagher, R. Bro, J. M. Shaver, W. Windig, R. S. Koch, PLS Toolbox 3.5 for use with MATLAB, Eigenvector Research Inc., Manson, WA, 2005.
- J.A.K. Suykens, T. van Gestel, J. de Brabanter, B. de Moor and J. Vandewalle, Least-Squares Support Vector Machines. World Scientific, Singapore, 2002.

SYMPOSIUM 2

Impacts des SCV sur la macrofaune, cas du coton au Nord Cameroun

Krishna Naudin¹, Simon Bikay², Jean Michel Maldès³, Thierry Brévault⁴,

¹CIRAD, UPR couverts permanents, Antananarivo, Madagascar; CIRAD, UPR couverts permanents, Montpellier, F-34398 France; SCRID, Antananarivo, Madagascar.
krishna.naudin@cirad.fr

²SODECOTON, ESA Project, Garoua, Cameroun.

³CIRAD, UMR CBGP, Montpellier, F-34000 France; INRA, UMR CBGP, Montpellier, F-4000 France; IRD, UMR CBGP, Montpellier, F-34000 France; ENSAM, UMR CBGP, Montpellier, F-34000 France.

⁴CIRAD, UPR Systèmes cotonniers, Garoua, Cameroun; CIRAD, UPR Systèmes cotonniers, Montpellier, F-34398 France; IRAD, Garoua, Cameroun.

Dans le cadre de l'adaptation des systèmes de cultures sur couverture végétale (SCV) au Nord Cameroun nous avons cherché à comparer l'impact sur la macrofaune du sol de quatre modes de gestion du sol dans les parcelles de coton: 1) semis sur labour (L), 2) semis direct sur sol nu (SD), 3), semis direct sur couverture de céréales (maïs à Windé et Sorgho à Zouana) et de graminée : *Bracharia ruziziensis* (SDG), 4) semis direct sur couverture de céréale (maïs à Windé et sorgho à Zouana) et de légumineuse : *Crotalaria retusa* ou *Mucuna pruriens* (SDL). Les parcelles sont implantées depuis 2002 et les observations ont été réalisées en 2004 soit en troisième année d'application des systèmes. Le dispositif a été installé dans les villages de Zouana (Pluviométrie moyenne 800 mm, 4°45'N 11°25'E) et de Pintchoumba (Pluviométrie moyenne 1 100 mm, 8°29'N et 13°26'E). Les résultats rapportés ici ne concernent que la collecte d'organisme dans des cubes de 30 X 30 cm (incluant la litière) prélevés au moment de la levée du coton et 30 jours après celle-ci. L'abondance, la diversité et l'équitabilité sont plus élevées dans SDL et SDG que dans L, SD présente des valeurs intermédiaires entre les parcelles avec couvertures (SDL et SDG) et L. A Windé, le nombre de détritivores est significativement plus élevé dans SDL que dans SD et L. A Windé l'augmentation du nombre de phytophages en passant de L et SD à SDG et SDL s'accompagne d'une augmentation dans les mêmes proportions de la densité de prédateurs. A Zouana, la densité de prédateurs augmente plus que celle de phytophages quand on passe des modes de gestion conventionnels (L et SD) aux modes de gestion avec couverture (SDG et SDL). On peut donc espérer un meilleur contrôle biologique des phytophages nuisibles au coton par les prédateurs dans les parcelles en semis direct sur couverture végétale.

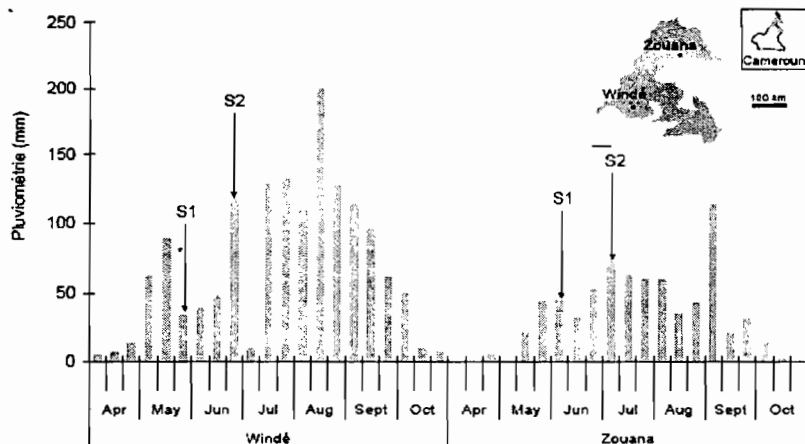


Figure 1: Localisation des sites expérimentaux et distribution de la pluie pendant la saison 2004 à Windé et Zouana. S1 et S2 indiquent les dates de prélèvement des cubes de sol.

Tableau I. Richesse, diversité et équitabilité de la macrofaune en fonction du mode de la technique de culture. NG 95% : nombre minimum de groupe pour atteindre 95% du total d'individus. L : labour, SD : semis direct, SDG : semis direct avec couverture de graminée, SDL : semis direct avec couverture de légumineuse

Site	Mode de gestion du sol	Densité, individus/m ²	Nombre de familles	Indice de Shannon-Weaver	Indice d'équitabilité	NG 95%
Windé	L	302	16	2.5	0.63	11
	SD	466	17	2.3	0.57	9
	SDG	581	28	3.3	0.70	17
	SDL	623	28	3.2	0.67	14
Zouana	L	276	18	2.5	0.59	10
	SD	328	20	2.9	0.68	13
	SDG	593	27	3.4	0.72	16
	SDL	410	29	3.4	0.70	18

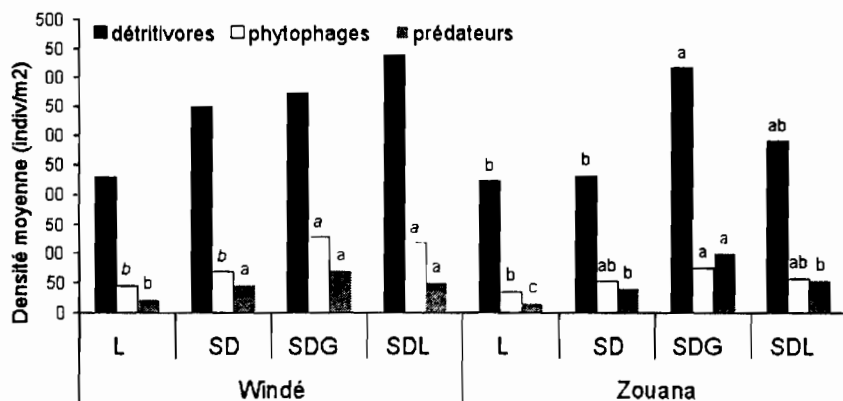


Figure 2 : Abondance des types de macrofaune en fonction du mode de gestion du sol et du site d'observation. L : labour, SD : semis direct, SDG : semis direct avec couverture de graminée, SDL : semis direct avec couverture de légumineuse

Dispositifs pour l'évaluation des impacts des systèmes de culture sur les dégâts des insectes terricoles sur le riz pluvial a Madagascar

Alain RATNADASS¹, Emile RAFAMATANANTSOA², Tahina E. RAJAONERA², Fidiniaina RAMAHANDRY², Mamonjiniaina RAMAROFIDY², Richard RANDRIAMANANTSOA² & Lucien SEGUY³

¹ CIRAD – URP/SCRiD, BP 853, Antananarivo, Madagascar, ratnadass@cirad.fr

² FOFIFA – URP/SCRiD, BP 230, Antsirabe, Madagascar, r_randriamanantsoa@yahoo.fr

³ CIRAD – UPR/SCV, Goiania, Brazil, seguy@cirad.fr

1. Introduction

A Madagascar, les insectes terricoles *Heteronychus* spp. causent d'importants dégâts au riz pluvial. Le traitement des semences à l'imidaclopride assure une protection efficace (Randriamanantsoa & Ratnadass, 2005), mais le coût et l'impact environnemental soupçonnés de cette technique ont justifié l'étude de la possibilité de s'en affranchir au bout d'un certain temps en systèmes de culture avec semis direct sur couverture végétale (SCV).

2. Méthodologie

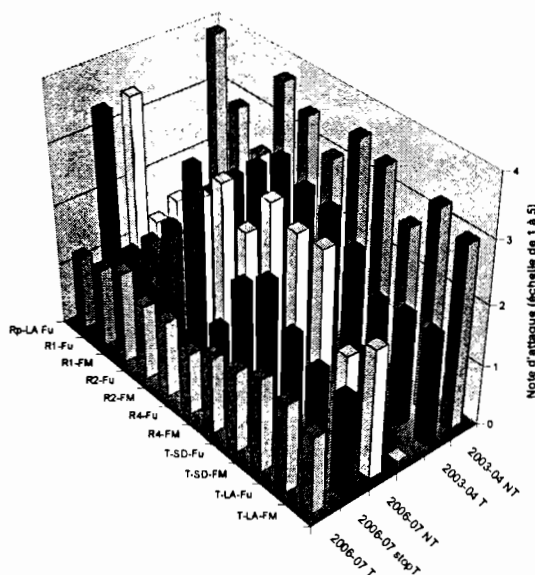
Sur le dispositif central de l'URP SCRiD à Andranomanelatra (Hautes-Terres du Vakinankaratra) on a mis en place à partir de fin 2002 six rotations annuelles ("I") basées sur différentes associations culturales ("+" = "simultanées" ; "-" = en dérobée) : (T) haricot-avoine noire-vesce//riz-vesce ; (R1) avoine noire-haricot-ray grass//riz ; (R2) haricot-éleusine+vesce//riz-vesce ; (R3) maïs+*Bracharia ruziziensis*//riz ; (R4) maïs+soja-vesce//riz-vesce ; (Rp) maïs+haricot// riz. (T) & (R4) sont conduits en labour conventionnel (LA) et en semis direct (SD) ; tous les systèmes sont conduits avec fumier de ferme seul (Fu) et fumier plus fertilisation minérale (FM) sauf Rp = témoin de la pratique paysanne conduit seulement LA et Fu. On a introduit dès l'origine dans cette « matrice » une bande où les semences n'étaient jamais traitées, croisant les systèmes évalués. Chaque année, sur des placettes de 96 poquets disposées, à la fois sur la bande non traitée, et par symétrie, sur la partie traitée, on a observé les attaques d'insectes terricoles (note visuelle au tallage sur une échelle de 1 à 5 par ordre croissant de gravité) et mesuré le rendement du riz pluvial. En 2006, on a arrêté les traitements de semences sur une nouvelle bande jouxtant la première.

3. Résultats

L'évolution des attaques d'insectes terricoles (essentiellement *Heteronychus arator rugifrons*) entre 2003-04 & 2006-07 a montré que des différences entre systèmes (Fig.1). Ainsi, avec les systèmes R1 et T-LA, au vu de la différence d'attaque entre parcelles non traitées et traitées, le traitement de semences ne se justifiait plus. En revanche, certains systèmes (Rp, R2) n'ont pas accusé d'amélioration avec le temps : les parcelles où l'on a arrêté le traitement sont restées au niveau de celles qui n'ont jamais été traitées, bien plus attaquées que les parcelles traitées.

Sur le système T, les rendements ont été très variables entre 2003 et 2007, reflète de la pluviométrie de l'année et du respect ou non de la date de semis. Il ne s'agit pas du système le plus performant, la conduite conventionnelle y étant d'ailleurs plus suppressive des dégâts d'insectes que celle en SCV.

Fig. 1. Evolution des attaques d'insectes terricoles sur riz pluvial sur la matrice d'Andranomanelatra



4. Conclusion

On n'a pu arrêter le traitement qu'au bout de 4 ans du fait de la faible production de biomasse constatée sur l'ensemble des systèmes les deux premières années. Les systèmes les plus performants sont *a priori* les plus productifs en biomasse, et ceux dont les cultures en rotation/dérobée avec le riz ne sont pas hôtes d'*Heteronychus* spp., la présence d'une graminée semblant favoriser les attaques (Ratnadass et al., 2007). Ces résultats seront complétés par ceux de l'analyse de la macrofaune tellurique effectuée sur la matrice en 2003 et 2007, afin de comparer les systèmes sur une double base synchronique et diachronique vis-à-vis de l'abondance et de la diversité de la macrofaune. Egalement, on analysera les résidus d'imidaclopride sur les sols de parcelles traitées depuis 2002-03, vs celles jamais traitées, vs celles traitées de 2002-03 à 2005-06, et plus traitées à partir de 2006-07 pour déterminer les parts respectives de la rémanence et des effets induits (activation de la biologie des sols via la biomasse) dans la performance de certains systèmes observée même après l'arrêt du traitement de semences. Deux nouvelles matrices bâties sur les mêmes principes, avec respectivement six et quatre systèmes, ont été mises en place respectivement en 2003-04 et 2005-06, à Ivory (Moyen-Ouest du Vakinankaratra), et Ambohitsilaozana (Moyen-Est).

5. Références

- Randriamanantsoa R., Ratnadass, A. 2005. Protection insecticide du riz pluvial par traitement des semences à Madagascar. In AFPP : Acte de la 7^è Conférence Internationale sur les Ravageurs en Agriculture (Cédérom), 26-27 Oct. 2005, Montpellier, France. 6 p.
- Ratnadass, A., Randriamanantsoa, R., Rajaonera, T.E., Rafamatanantsoa, E., Ramahandry, F., Ramarofidy, M., Michellon, R. 2007. Impacts d'un système de culture à base de riz pluvial et de semis direct sur couverture végétale (SCV) sur la macrofaune du sol à Madagascar, avec référence particulière aux effets sur la production du riz. Poster présenté au Séminaire international « Les sols tropicaux en semis direct sous couvertures végétales ». Madagascar, 3-7 Déc. 2007.

SYMPOSIUM 3

Risque de l'allélopathie de l'orge sur le blé dur en semis direct

Moncef BEN-HAMMOUDA¹, Iness DRIDI¹,
Samira GHOUIL¹ et Habib SASSI¹

¹ Ecole Supérieure d'Agriculture du Kef, Benhammouda.moncef@iresa.agrinet.tn

L'agriculture de conservation (AC) est basée sur le semis sur couverture végétale (SCV) et communément appelé semis direct (SD). L'allélopathie du mulch/résidus (Blum et al., 1992) d'une première céréale sous forme d'hétéro-toxicité pourrait engendrer des risques sur le comportement agro-physiologique de la deuxième céréale (cas: blé-dur/orge). La technique de bio-essai a été utilisée (Ben-Hammouda et al., 1995-a ; 2001), pour étudier le potentiel allélopathique des tissus de la plante-orge/'Rihane' sur la germination et la croissance de la racine de jeune-plante de 5 variétés de blé dur ('Karim', 'Razak', 'Nasr', 'Om-rabi', 'Khiair') les plus cultivées dans la zone du semi-aride du Nord-Ouest Tunisien.

Les phénols, métabolites secondaires chez les plantes (Taiz and Zeiger, 1991), sont connus comme substances allélochimiques (Ben-Hammouda et al., 1995-b) dont la connaissance de leur dynamique d'accumulation dans les tissus est d'un grand intérêt agronomique, surtout pour l'orge (Ben-Hammouda et al., 2001) qui est une espèce de fin multiple (pâturage en vert, grains, paille, plante de couverture). A cet effet, l'évolution des phénols-totaux (PT) de 3 composantes (feuilles, tiges, racines) de la plante-orge/'Rihane' a été étudiée en fonction de 3 stades phénologiques (plein-tallage, montaison, remplissage-grains).

L'étude de l'hétéro-toxicité a montré un effet inhibiteur significatif des 3 extraits-eau (feuilles, tiges, racines) sur la germination de 5 variétés-test (Tableau1).

Tableau 1. Germination (%) de cinq variétés de blé dur traitées par l'extraireau (feuilles, tiges, racines) de l'orge/'Rihane'.

Traitement	Variété				
	'Karim'	'Razek'	'Nasr'	'Om rabi'	'Khiair'
Témoin	84.8 a*	89.0 a	89.0	96.0 a	83.0 a
Extrait-tiges	77.0 ab	87.0 a	90.0	96.0 a	81.0 a
Extrait-feuilles	63.0 b	78.0 b	89.0	92.0 ab	84.0 a
Extrait-racines	82.0 a	82.0 ab	84.0	94.0 ab	85.0 a
Extrait-mélange	73.0 ab	76.0 b	83.0	88.0 b	67.0 b
PPDS (5%)	14.0	8.1	NS	5.1	7.5
CV (%)	12.9	6.6	4.6	3.7	6.7

* Les moyennes ayant la même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5 %.

NS Différences non significatives à la probabilité de 5%.

Cependant, l'effet inhibiteur était significatif sur la croissance de la racicule de toutes les variétés-test. L'effet des extraits-eau des feuilles et des tiges était généralement le plus significatif, avec la présence d'une large variabilité de réponse de chaque variété-test vis-à-vis de l'extrait-eau en question (Tableau 2).

Tableau 2. Longueur (cm) de la racicule de cinq variétés de blé dur traitées par l'extrait-eau de l'orge/Rihane'.

Traitement	Variété				
	'Karim'	'Khlar'	'Razek'	'Om rabil'	'Nasr'
Témoin	5.1 a*	4.8 a	5.1 a	5.1 a	5.4 a
Extrait-tiges	1.7 c	2.0 b	1.2 b	1.3 b	1.9 c
Extrait-feuilles	2.6 b	2.0 b	1.9 b	2.4 b	3.0 bc
Extrait-racines	4.6 a	3.7 a	5.0 a	4.7 a	4.7 ab
Extrait-mélange	2.6 b	2.1 b	2.2 b	1.4 b	2.3 c
PPDS (5%)	0.6	1.2	1.1	1.3	0.8
CV (%)	13.1	27.1	24.7	28.8	34.6

* Les moyennes ayant la même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5 %.

Les résultats sont conformes à ceux de Opoku et al. (1997) qui a étudié l'effet des extraits-eau de la paille du blé mélangé avec le sol sur la germination et la croissance de la racicule du maïs.

L'analyse des PT a montré une différence significative entre les composantes de la plante orge/Rihane', dont la teneur la plus élevée était celle des feuilles suivies par les tiges puis les racines. Ces résultats sont similaires au cas de la plante-sorgho où le contenu en PT des feuilles de 3 hybrides dépasse celui des racines, des tiges, des graines et des glumes (Ben-Hammouda et al., 1995-b). De même la plante-sorgho contient plus de composés phénoliques au niveau des feuilles et des glumes qu'au niveau des tiges et des caryopses (Vaniska et al., 1988), ceci était vrai pour les feuilles en comparaison avec les tiges et les racines quelque soit le stade phénologique en question (Tableau 3).

Tableau 3. Comparaison de la teneur en PT (équivalent-acide-tannique/g-tissu) entre trois composantes de la plante orge/'Rihane', en fonction de trois stades phénologiques (plein-tallage, montaison, remplissages-grains).

Composante	Teneur en PT		
	Plein-tallage	Montaison	Remplissages-grains
Feuilles	2.07 a	1.60 a	0.76 a
Tiges	0.60 b	0.39 b	0.23 b
Racines	0.38 c	0.24 c	0.09 c
PPDS (5%)	0.38	0.06	0.10
CV		5.3	16.4
(%)	8.6		

* Les moyennes ayant la même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5 %.

Chaque fois la plante-orge/'Rihane' se rapproche de la maturité physiologique, la teneur en PT diminue, quelque soit la composante de la plante.

Références bibliographiques

- Ben-Hammouda, M., Ghorbal, H., Kremer, R. J. et Ouesleti, O. 2001. Effets allélopathiques des extraits d'orge sur la germination et la croissance des jeunes plantes de blé tendre et de blé dur. *Agronomie*. 2: 65-71.
- Ben Hammouda, M., Kremer, R. J. and Minor, H. C. 1995-a. Phytotoxicity of extracts from sorghum plant Components on wheat seedling. *Crop Science*. 35 (6): 1652-1656.
- Ben Hammouda, M., Kremer, R. J. Minor, H. C. and Sarwar, M. 1995-b. A chemical basis for differential allelopathic potential of sorghum hybrids on wheat. *Journal of Chemical Ecology*. 2: 775-786.
- Blum, U., Gerig, T.M., Worsham, A.D., Holappa, L.D., and King, L.D. 1992. Allelopathy activity in wheat-conventional and wheat-no-till soils: development of soil extract bio-assays. *Journal of Chemical Ecology*. 35 (12): 2191-2221.
- Opoku, G., Vyn, T. J., and Voroney, R. P. 1997. Wheat straw placement effects on total phenolic compounds in soil and corn seedling growth. *Canadian Journal of Plant Science*. 77 (3): 301-305.
- Taiz, L. and Zeiger, E. 1991. *Plant Physiology*. The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc. USA.
- Waniska, R. D., Ring, A. S., Doherty, C. A., Poe, J. H. and Rooney, L. W. 1988. Inhibitors in sorghum biomass during growth and processing into fuel. *Biomass* 15: 155-164.

Effets à court terme du semis direct sur certaines propriétés du sol en zone semi-aride

Nadhira BEN AISSA¹, Bassem DIMASSI¹
et Moncef BEN-HAMMOUDA²

¹ Institut National Agronomique de Tunisie

² Ecole Supérieure d'Agriculture du Kef

En zone semi-aride, la gestion des résidus de récolte est d'une importance primordiale pour obtenir la production végétale soutenable (Du Preez et al., 2001). La technique du semis direct (SD), en tant que pratique visant à restaurer et améliorer les propriétés biologiques, physiques et fertilisantes des sols de culture a été introduite récemment en Tunisie sur des parcelles expérimentales privées.

Dans la région du Kef (Nord-Ouest de la Tunisie), un premier bilan, se rapportant à la matière organique (MO), à des paramètres fertilisants (phosphore, potassium) et hydrique (réserve utile pondérale en eau) de l'horizon de surface (15 cm), a été réalisé sur une parcelle en monoculture d'orge subdivisée en deux planches. Une planche a été conduite en SD durant trois années successives (02/03, 03/04, 04/05) avec une moyenne de restitution de biomasse/résidus équivalente à 1.7 t/ha et l'autre en semis conventionnel (SC). L'échantillonnage du sol été réalisé en Janvier/06. Le sol se caractérise par de faibles teneurs en carbone organique total (COT), de fortes teneurs en calcaire total $\text{CaCO}_3\text{-t}$ et actif $\text{CaCO}_3\text{-a}$ et d'un pH alcalin (Tableau 1).

Tableau 1. Caractéristiques analytiques du sol.

COT (%)		N (%)		C/N		pH		$\text{CaCO}_3\text{-t}$ (%)		$\text{CaCO}_3\text{-a}$ (%)	
SC	SD	SC	SD	SC	SD	SC	SD	SC	SD	SC	SD
1.37	1.72	0.18	0.17	7.0	10.0	8.04	8.06	33.8	34.5	17.0	16.0

Les résultats relatifs à la MO montrent une augmentation du COT qui passe de 1.37% en SC à 1.72 % en SD faisant passer ainsi le rapport C/N de 7 à 10. De même, la fraction humifiée en SD est plus importante qu'en SC avec un enrichissement en acides humiques (AH) où les teneurs ont passé de 47 mg/100g-sol en SC à 60 mg/100g-sol en SD. Les rapports E4/E6 (E4: absorbance à 465 nm, E6: absorbance à 665 nm) des AH (E4/E6 = 56 en SD, E4/E6 = 15.4 en SC) dénotent d'un caractère aliphatique des AH dans le sol en SD.

Comme le montre les courbes cumulatives de la minéralisation de la MO par incubation au laboratoire en conditions optimales de température (28 °C) et d'humidité (2/3 de la capacité au champ) pendant 32 jours, le dégagement du CO_2 passe par une première phase ascendante de 12 jours au cours de la quelle le sol en SD a fourni plus de CO_2 , suivi d'une stabilisation où les deux sols (SD vs SC) se comportaient pratiquement de la même manière. A partir du 22ème jour, le dégagement du CO_2 en SD a baissé par rapport à celui en SC. En terme de bilan, le sol en SD a dégagé 2002.5 kg- CO_2 /ha et 1758 kg- CO_2 /ha en SC. Ces taux représentent 8.6 % du COT en SD et 10.7 % en SC.

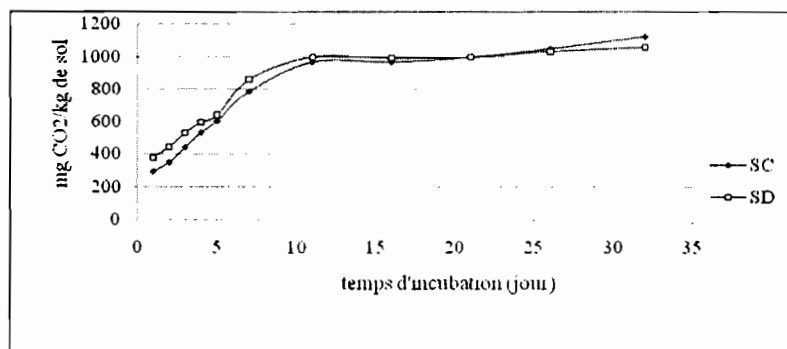


Figure 1. Quantité de CO₂ dégagée au cours de l'incubation des sols.

Les paramètres fertilisants quantifiés sont le phosphore assimilable (Pa), le potassium échangeable (Ke) et la capacité d'échange cationique (T). Les montrent une amélioration des teneurs en Pa et Ke ainsi qu'une augmentation de T en SD (Tableau 2).

Tableau 2. Teneurs en Pa, Ke et T.

Mode de semis	Pa (ppm)	Ke (ppm)	T (meq/100g-sol)
SD	11.54	500	48.3
SC	1.86	420	42.0

La réserve utile pondérale en eau du sol, obtenue par différence entre la valeur de la capacité au champ et celle du point de flétrissement était de 9 % en SD et de 6 % en SC.

Les premiers résultats obtenus montrent que le du SD, même avec une moyenne de restitution de biomasse/résidus équivalente à 1.7 t/ha pour trois années successives, arrive à améliorer les teneurs en MO du sol, tout en limitant sa minéralisation. Puget et Lal (2004) présentent le SD comme une technique pour limiter la minéralisation de la MO et l'amélioration des stocks nutritifs. Elle contribue à la restauration des propriétés biologiques, hydriques et fertilisantes du sol (Tan et Lal, 2005 ; Bescansa et al. 2006). L'enrichissement en composés humiques favorise la rétention des éléments nutritifs en s'opposant à leur lixiviation (Prévost, 1999).

Références bibliographiques

- Bescansa P., Imaz M. J., Vitro I., Enrique, A and Hoogmoed, W. B. 2006. Soil water retention as affected by tillage and residue management in semiarid Spain. *Soil and Tillage Research*. 87: 19-27.
- Du Preez., C. C., Steyn, J. T. and Kotze, E. 2001. Long-term effects of wheat residue management on some fertility indicators of a semi-arid plinthosol, *Soil and Tillage Research*.. 63: 25-33.
- Prévost, P. 1999. Bases de l'Agriculture. 2^{ème} Edition. Edition TEC and DOC. Londre.
- Puget, P. and Lal, R. 2004. Soil organic carbon and nitrogen in a mollisol in central Ohio as affected by tillage and land use. *Soil and Tillage Research*. 1-8.
- Tan, Z. and Lal R. 2005. Carbon sequestration potential estimates with changes in land use and tillage practice in Ohio, USA. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 111: 140-152.

Caractérisation du système racinaire du riz pluvial sous différents modes de gestion du sol

Julie DUSSERRE¹, Ando Mariot RADANIELSON¹, Jacqueline RAKOTOARISOA², Jean-Marie DOUZET¹, Alain AUDEBERT³, Jean-Louis CHOPART⁴

¹ CIRAD - URP SCRiD, Département PERSYST, BP 230 Antsirabe 110 Madagascar

² FOFIFA - URP SCRiD, Département de Recherche Rizicole, BP 1690 Antananarivo 101

³ CIRAD, Département BIOS, UPR Riziculture TA 70/01 34398 Montpellier Cedex 5, France

⁴ CIRAD, 7 chemin de l'IRAT 97430 Saint Pierre, Réunion
dusserre@cirad.mg

1. Introduction

Pour comprendre l'effet de modes de gestion du sol sur le fonctionnement d'une culture, il est nécessaire de s'intéresser à son développement racinaire, qui conditionne son accès aux ressources du sol. L'objectif du travail présenté est de caractériser le développement du système racinaire de riz pluvial sous différents modes de gestion du sol. La méthode utilisée est basée sur le comptage d'impacts racinaires par unité de surface sur un profil de sol, et le prélèvement de cubes de sol permettant le passage du comptage d'impacts à une densité de longueur racinaire. Un modèle fondé sur le rapport entre la longueur totale des racines contenue dans un cube de sol, l'orientation préférentielle des racines et la distance à la base de la tige de la plante, a été développé et validé sur le maïs par Chopart et Siband (1999). Le modèle de passage du comptage d'impacts à une densité de longueur racinaire a été calibré précédemment par le prélèvement de cubes de sol (Radanielson *et al.*, 2007).

2. Matériel et méthodes

Les expérimentations ont eu lieu sur le dispositif SCRiD d'Andranomanelatra à Madagascar en 2006. Des mesures ont été réalisées à la fin floraison sur du riz pluvial, variété FOFIFA 161, selon trois systèmes de culture :

- labour et SCV sur précédent de maïs associé à du soja suivi en dérobée de vesce, ce système combine l'effet du soja et de la vesce pour l'enrichissement du sol par la production de biomasse et la fixation de l'azote ;
- SCV sur précédent de maïs associé à du *Bracharia*, le *Bracharia* est utilisé pour son potentiel à produire de la biomasse mais surtout à travailler le sol avec ses racines.

Le comptage d'impacts racinaires est réalisé sur un plan du sol à différentes profondeurs, le plan étant matérialisé par une grille de 40cm de largeur avec des mailles de 5 cm x 5 cm sur une longueur de 20 cm. Les observations sont faites sur deux poquets consécutifs, à deux positions : à 3 cm avant le poquet et à 10 cm après le poquet sur la ligne de semis (semis en 20 cm x 20 cm). Les mesures sont entreprises jusqu'à 1m de profondeur. Les observations ont été menées en deux répétitions sur l'ensemble des dispositifs d'étude.

3. Résultats

Malgré des différences non significatives (2 répétitions), il est mis en évidence un nombre d'impacts racinaires plus importante en labour sur les 10 premiers centimètres, et un nombre d'impacts plus important en SCV à partir de 25 cm de profondeur. A partir de cette profondeur, pour le même nombre d'impact, on se trouve globalement 10 cm plus profond en SCV et notamment avec précédent *Brachiaria*. La présence racinaire est confirmée jusqu'à 1 mètre en SCV et jusqu'à 85-90 cm en labour. Ainsi, si le développement racinaire est plus important en labour sur l'horizon de surface, les résultats indiquent qu'en SCV le développement racinaire est plus important en profondeur et les racines atteignent des profondeurs plus importantes, ici jusqu'à 15 cm de plus qu'en labour, ces différences pouvant apporter un avantage à la culture en terme d'accessibilité aux ressources tout au long du cycle cultural.

4. Conclusion

Les résultats ont mis en évidence un effet positif du SCV sur l'enracinement en profondeur du riz, particulièrement avec un précédent *Brachiaria*.

La validation du modèle de passage du nombre d'impacts racinaires à la densité de longueur racinaire est en cours, et permettra par la suite d'estimer le taux d'exploration racinaire.

Cette méthode montre son intérêt pour l'étude du système racinaire, mais des expérimentations complémentaires sont nécessaires pour confirmer sa validité sur d'autres variétés, types de sol et environnements.

5. Références

- Chopart J.L. et Siband P., 1999. Development and validation of a model to describe root length density of maize from root counts on soil profiles. Plant and Soil 214: 61-74.
- Radanielson, A., J. Dusserre, J.C. Chopart et A. Audebert, 2007. Roots model calibration to describe root length density for rainfed rice using soil profile root impacts. Rhizosphere II International Conference, 26-31/08/2007, Montpellier, France. p126.

Caractérisation et évaluation de systèmes de culture agroforestiers à base de cacaoyers au Cameroun en fonction des conditions environnementales et de la gestion de la fertilité

Florent GLATARD ¹, Patrick JAGORET ³, Frank ENJALRIC ²

¹ *Personal address: 55 avenue Lafayette, Rochefort, France.*

² *CIRAD. UMR System. Montpellier, F-34000 (France).*

³ *CIRAD. UPR Systèmes de pérennes. Montpellier, F-34000 (France). IRAD, Yaoundé (Cameroun).*

1. Introduction

La région centrale du Cameroun présente un paysage de transition entre forêt et savane. Des pluies irrégulières, la médiocre qualité des sols (sols ferrallitiques désaturés), la rareté des terres forestières et des savanes à Imperata sont des contraintes fortes de cette zone considérée comme sub optimale pour la cacaoculture. La pression foncière au sein de cette région située à la marge de la zone optimale de culture du cacao conduit les agriculteurs à établir des systèmes de culture agroforestiers (SAF) à base de cacao sur savane ce qui représente une alternative surprenante à la pratique traditionnelle d'installation de cacaoyères basée sur l'utilisation de la fertilité après déforestation (Jagoret *et al.*, 2006). Cette dynamique, associée au fait que la fertilité de sols est la contrainte la plus fréquemment évoquée par les agriculteurs, nous a amené à nous interroger sur la gestion de la fertilité et la durabilité de tels systèmes. Des études ont été entreprises à la foi sur les pratiques des agriculteurs et les propriétés des sols afin d'évaluer la performance d'un système de culture en fonction de la gestion de la fertilité.

2. Matériel et méthodes

Les travaux ont été menés dans la région centrale du Cameroun, dans un paysage constitué d'une mosaïque de forêt et savane. Des parcelles ont été choisies pour représenter les SAF cacao sur les principales unités morphopédologiques, définies après un processus de zonage (WRB, ISSS 2006), à savoir forêt sur acrisol, savane sur acrisol et savane sur gleysol. L'approche synchronique a été mise en œuvre et quatre stades de développement des SAF cacao ont été sélectionnés : 1) 0-2 ans, les cacaoyers sont immatures et dominés, 2) 3-5 ans, les cacaoyers sont immatures et dominants, toujours associés aux cultures vivrières, 3) 5-9 ans, les cacaoyers sont matures, dominants et associés à des espèces ligneuses, 4) > 10 ans, les cacaoyers sont matures et dominés. La matière organique des sols (MOS) étant considérée comme un indicateur adapté pour évaluer des systèmes de culture gérés sans intrants (Feller, 1995), son évolution a été évaluée sur des parcelles situées sur différentes unités morphopédologiques.

Les espèces fruitières et forestières ont été inventoriées afin d'utiliser l'index de Shannon Weaver pour évaluer la biodiversité de ces SAF selon leur milieu (Frontier et Pichod-Viale, 1998).

Les agriculteurs ont été interviewés et suivis afin de déterminer leur perception de la fertilité et pour déterminer les pratiques agricoles et les règles de décision, et pour évaluer les performances en termes de productions, de temps de travail, et de revenus.

3. Résultats

Les agriculteurs ont une bonne perception de la fertilité des sols au travers la couleur, la texture du sol et la nature de la végétation spontanée. Ils évitent les sols latéritiques et ceux couverts d'*Imperata cylindrica*, et préfèrent les sols sombres où se développent *Cromolaena odorata* ou *Pennisetum purpureum*. Ils ont naturellement des pratiques agricoles plus intensives avec une forte densité de cultures vivrières sur plusieurs cycles sur des sols fertiles.

Trois indicateurs ont été utilisés pour évaluer ces SAF à base de cacaoyers : la production de fèves, la teneur en MOS et l'agro-biodiversité.

L'évaluation des productions sur une dizaine d'années montre que les SAF cacao établis sur savane produisent plus et rentrent en production plus tôt que ceux établis sur forêt. Une densité d'arbres supérieure sur savane n'explique que partiellement cet avantage.

Au niveau de la fertilité, nous avons observé que la MOS de parcelles SAF plantées après forêt sur acrisol décroît au cours du temps. A l'opposé, la MOS de parcelles SAF sur savane reste stable sur acrisol et augmente légèrement sur gleysol (figure 1). Ce dernier résultat montre que les SAF cacao peuvent être durables selon cet indicateur MOS.

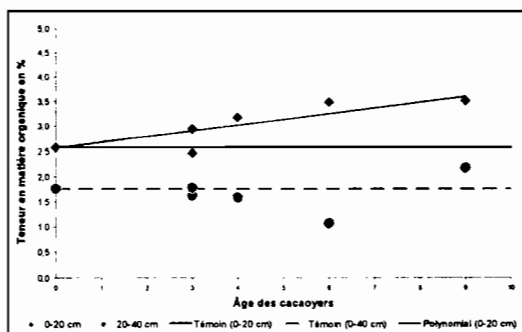


Figure 1: Evolution positive de la matière organique du sol de parcelles SAF cacao établies sur savane / gleysol

L'agrobiodiversité, évaluée avec l'index de Shannon montre que les SAF établis sur savane ont un niveau de diversité égal ou supérieur aux SAF établis sur forêt (Cf. tableau 1) vraisemblablement du fait que le processus de co-plantage d'arbres fruitiers et forestiers utiles en savane est plus efficace que la gestion de l'ombrage par élimination progressive après forêt.

Tableau 1 : Evolution de l'index de Shannon équivalent ou supérieur sur savane que sur forêt.

Unité de sol	Précédent couverture Sol	N	Nombre moyen d'espèces / hectare	Index moyen Shannon-Weaner
Acrisol	Forêt	4	36	3,3
Acrisol	Savane	6	77	3
Gleysol		4	58	2,9

4. Conclusion

La dynamique d'installation de SAF à base de cacaoyer sur savane dans la région centrale du Cameroun est une réponse au manque de terres forestières. Les agriculteurs ont une juste appréciation de la fertilité, ils utilisent des indicateurs pertinents pour le choix de leurs parcelles et la mise en œuvre de pratiques agricoles adaptées. Leur stratégie consiste à assurer les revenus par la diversification des cultures, à contrôler l'Imperata et gérer l'ombrage requis pour assurer la production de cacao. Au vu de leurs performances, les SAF cacao sur savane (raccourcissement de la période immature et accroissement de la MOS) apparaissent compétitifs et méritent une attention particulière. Cette étude montre des performances de ces systèmes de culture agroforestiers supérieurs dans un environnement de savane qu'en conditions forestières sans effet dépresseur sur l'agrobiodiversité et la fertilité des sols caractérisée par la teneur en matière organique.

5. Références

- Feller C., 1995. La matière organique du sol : un indicateur de fertilité. Application aux zones sahélienne et soudanienne. Agriculture et Développement, n°8, 35-40.
- Frontier S., Pichot-Viale D., 1998. Ecosystèmes. Structure, fonctionnement, évolution. Paris, France, Dunod, 447 p.
- ISSS 2006. World reference base for soil resources – Atlas. ISRIC-FAO-ISSS, Leuven
- Jagoret P., Couve C., Bouambi E., Menimo T., Domkam I., Nyassé S. (2006). Caractéristiques des systèmes de cacaoculture au Centre Cameroun. Montpellier, France, Cirad, 115 p.

« Paillages » et « paillis » paysans (Afrique de l'Ouest, Madagascar)

Georges SERPANTIE

Le semis direct et les couvertures végétales (mortes, ou vivantes) associées ou non représentent des solutions agro-écologiques, appelées à être diffusées en zone tropicale dans le cadre de mesures agri-environnementales pour une agriculture durable. Cette stratégie pourrait tirer d'utiles renseignements des pratiques paysannes au Sud. Mobiliser les savoirs et savoirs-faire paysans en la matière permettrait de mieux comprendre les logiques (objectifs, possibilités, contraintes) auxquelles répondent ces actions, enrichir la problématique SCV et donner de nouvelles pistes de travail aux chercheurs. Sur ce plan, il serait possible de partir de certaines pratiques préexistantes, soit pour s'en inspirer dans des modèles exogènes, soit les diffuser hors de leur zone d'origine, soit en jouant sur une réduction des contraintes à leur développement (par exemple la mécanisation quand le travail manuel est le facteur limitant).

Les semis direct sans travail du sol est une pratique paysanne ordinaire en culture itinérante et en sols sableux, sur brûlis ou non, tant en Afrique qu'à Madagascar. Qu'en est-il des pratiques actives de paillage ? Elles sont rares et peu connues et pourtant il en existe notamment en Afrique de l'Ouest des savanes et du Sahel. De plus, certains paillis peuvent exister aussi comme états du milieu mais sont involontaires ou passifs. Ils n'en sont pas moins gérés. Ils peuvent remplir des rôles essentiels ou avoir des effets utiles sur l'état du milieu, qu'il faudra compenser si ces états étaient modifiés lors de changements agraires.

Afin de connaître ces pratiques et états, et leurs multiples effets, les méthodes combinent des enquêtes en zone rurale (échelle parcelle, exploitation, communautés), des suivis saisonniers des états du milieu, et des expérimentations dédiées à l'approche des effets de l'état « paillis », en distinguant les « effets précédents » (changement d'état du sol) et des « effets suivant » (dynamique de l'écosystème cultivé.)

La communication aborde tout d'abord la description d'actions de récolte de chaumes ou de feuilles, et de paillage du sol comme étapes d'itinéraires techniques chez les paysans en Afrique Sèche (Burkina Faso, Nord Côte d'Ivoire). Ces actions techniques visant à créer temporairement une litière en surface ont des objectifs spécifiques qui peuvent se classer en deux catégories : 1) protection de semences de tubercules plantés en saison chaude (ignames, Coleus) car sensibles aux températures élevées, 2) amélioration des états du sol : réhabilitation de zones érodées, conquête de sols marginaux ou à croûtes grossières à forts ruissellements par des paysans ayant un accès limité à la terre (femmes, derniers arrivants). Leurs points communs sont de petites surfaces d'application (ou très partielles, telles le chapeau des buttes d'igname), et une mise en œuvre en fin de saison sèche ou en début de saison des pluies.

Leurs contraintes de mise en œuvre sont la sécurité (les serpents sont attirés par les couvertures), le travail, la concurrence pour la ressource.

Il existe aussi un état « paillis » répandu. Après récolte du mil ou du sorgho en zone soudano-sahélienne, les éteules sont le plus souvent maintenues au champ, réalisant un paillis de saison sèche. Le semis étant le plus souvent direct, on se retrouve dans le cas de figure d'un « semis direct après couverture végétale » car la couverture est brûlée ou retirée au moment de semer, pour différentes raisons, notamment la gêne occasionnée aux travaux d'entretien mais aussi à certains effets écologiques à évaluer. Cet état du sol a tendance à être remise en question par la sécheresse, l'élevage et la population croissants, qui accroissent les prélèvements de ressources en paille, notamment sur certains milieux (sorgho de bas-fonds). Les résidus subissent en effet un prélèvement de plus en plus précoce et complet pour le bétail et d'autres utilisations domestiques ou agricole, comme la réparation des sols dégradés. Enquêtes et expérimentations sur ces paillis d'éteules en zone soudano-sahélienne (Yatenga, Burkina Faso) ont permis de mettre en évidence des dynamiques et quelques rôles, tels la réduction de l'érosion éolienne. Dans certains cas, des paillis denses attirent une faune importante et provoquent une sédimentation éolienne, utile à la restauration d'un sol dégradé en zone sahélienne (sols sableux, vents). En revanche, nos mesures expérimentales indiquent qu'ils auraient peu d'effet sur la température du sol, sauf en sol humide, ainsi que sur l'évaporation en saison chaude. Ils maintiendraient pourtant mieux l'humidité en surface en saison humide (rôle de la rosée ? effet supérieur sur l'évaporation en cas de faible demande évaporative ?). Comme effet suivant, on note des avantages pour la levée et la croissance au départ, mais en revanche des sérieux inconvénients : les adventices croissent plus précocement, notamment le mil hybride. Ceci défavorise les conditions aux stades pré-tallage et réduit le potentiel de rendement si un sarclage très précoce n'est pas mis en œuvre, ce qui est rarement possible sur les champs de brousse, ni sur les parcelles marginales ou individuelles. Les très mauvaises croissances au départ se répercutant sur les rendements, ceci contribue à expliquer pourquoi les paysans préfèrent nettoyer le sol et procéder aux brûlages des chaumes résiduels avant l'arrivée des pluies de semis. Ces effets complexes appellent des recherches ciblées.

Efficiences de diverses techniques biologiques de gestion conservatoire de la fertilité du sol

Marie Antoinette RAZAFINDRAKOTO¹, Jean Chrysostôme RANDRIAMBOAVONJY², Nicolas ANDRIAMAMPIANINA³

¹ Professeur au Département Eaux et Forêts de l'Ecole Supér. des Scien. Agronom. Univ. d'Antananarivo –Madagascar BP 175 – Tél : (261) 32 407 89 18. E-mail : olala_jolimo@yahoo.fr.

² Professeur au Département Eaux et Forêts de l'Ecole Supér. des Scien. Agronom. – Univ. d'Antananarivo.

³ Chercheur au Département de Recherches Forestières et Piscicoles – FOFIFA– Antananarivo .

Abstract

In the vast region of Tampoketsa (in the North-West of the Highlands of Madagascar), annual bushfires have caused important degradation of vegetation (steppe with *Aristida sp* almost generalized in the landscape). Soils have become degraded and very sensitive to erosion. So, this fact induced diminution of agricultural productivity and peasants poverty.

The organisms FOFIFA and ESSA-Forestry have collaborated to carry out, in this region, experimentations for improving soil fertility by different types of leguminous shrub fallows.

The methodology of the study consisted in comparison of leguminous fallows with four species: *Tephrosia vogelii*, *Calliandra calothyrsus*, *Flemingia congesta*, *Cajanus cajan*. Reference witnesses were: degraded meadow with steppe of *Aristida sp* which is annually burnt and natural forest with optimal soil fertility.

The results have shown that the leguminous shrub fallows of long duration (especially *Tephrosia vogelii*) improve physico-chemical and hydrous properties of degraded soil at the state near the natural forest. *Calliandra calothyrsus* and *Flemingia congesta* fallow are situated at the following position. So, these technologies are very efficient for enhancing fertility of degraded soil, its resistance to erosion and its agricultural productivity. They are very useful for durable rural development.

Résumé

Dans la vaste région de Tampoketsa (N-O des Hauts-Plateaux Malgaches), les feux de brousse annuels ont engendré la dégradation importante de la végétation (état de steppe à *Aristida sp* quasi généralisé) et la dégradation des sols devenus très érodibles. Il en résulte la baisse de la productivité agricole et la pauvreté des paysans.

Ainsi, le FOFIFA et l'ESSA-Forêts ont collaboré pour y mener des expérimentations afin d'améliorer la fertilité de ces sols dégradés par différents types d'agroécosystèmes.

L'objectif de l'étude était d'évaluer et de comparer l'efficacité d'amélioration de la fertilité des sols par différentes jachères légumineuses arbustives. Ainsi,

on peut en déduire les meilleures techniques culturales améliorant efficacement les propriétés chimiques, physico-hydriques du sol, sa résistance à l'érosion et sa productivité agricole, afin de les proposer aux paysans.

Les dispositifs de recherche ont été constitués par des jachères légumineuses arbustives de longue durée (*Tephrosia vogelii* 7ans, *Calliandra calothyrsus* 10 ans, *Flemingia congesta* pleine 5 ans, culture en couloir avec haies vives de *Flemingia congesta* 5 ans, *Cajanus cajan* 2 ans). Les caractéristiques du sol de ces dispositifs agroforestiers ont été comparées à celles de la forêt naturelle (référence de fertilité optimale) et à celles du témoin prairie dégradée brûlée annuellement (référence de fertilité médiocre).

L'évaluation de l'amélioration de la fertilité des sols par les différents agroécosystèmes étudiés a été basée sur l'étude des caractéristiques physico-chimiques et hydriques du sol à la fin de la période de jachère légumineuse arbustive, puis après enfouissement de la biomasse de jachère dans le sol. Elle a été aussi basée sur l'étude de la productivité agricole ainsi que la susceptibilité du sol à la dégradation structurale et à l'érosion par la pluie. Ainsi, cette évaluation a été effectuée par différentes méthodes :

- détermination de la relation entre le taux de matière organique et les caractéristiques de la biomasse puis les caractéristiques du sol pour les divers agroécosystèmes (conductivité hydrique, stabilité structurale, somme des bases échangeables)
- étude de l'évolution de la rugosité de la surface du sol sous l'action des pluies naturelles après enfouissement de la jachère légumineuse arbustive (méthode d'aspérimétrie)
- étude de l'évolution, sous l'action des pluies, de l'épaisseur de sol de microreliefs érodé et de l'épaisseur de sol sédimenté dans les microdépressions de la surface du sol (par méthode d'aspérimétrie).
- détermination du mode d'évolution de la croissance du haricot au cours du cycle cultural
- détermination de la relation entre le rendement agricole et le taux de matière organique du sol

Les résultats obtenus ont démontré le rôle important de la matière organique dans l'amélioration de la fertilité du sol et ses relations avec la biomasse puis avec les autres caractéristiques du sol

D'abord, il a été observé une relation d'accroissement logarithmique de la matière organique du sol en fonction du poids total de la végétation du sol

Ensuite, il a été observé un accroissement linéaire des caractéristiques chimiques du sol en fonction de l'augmentation du taux de matière organique du sol (cas des bases échangeables)

En ce qui concerne la conductivité hydraulique et la stabilité structurale du sol, elles s'accroissent exponentiellement en fonction de l'augmentation du taux de matière organique.

Les résultats ont aussi montré que la jachère de *Tephrosia vogelii* 7 ans, présentant la meilleure qualité de biomasse et une abondante quantité, produisant le taux de matière organique du sol le plus élevé, a permis d'améliorer la fertilité du sol dégradé d'une manière très proche de la forêt naturelle. Sa richesse en azote engendre une vitesse de décomposition rapide de la matière organique, ce qui produit un enrichissement rapide du sol en matière organique. Les jachères de *Calliandra calothyrsus* 10 ans et *Flemingia congesta* pleine 5 ans suivent la jachère de *Tephrosia vogelii*.

Cette amélioration de fertilité du sol a concerné les propriétés physico-chimiques, hydriques, sa productivité agricole, ainsi que sa résistance à l'érosion par les pluies. La pratique de jachère légumineuse pleine a amélioré plus efficacement le sol que la culture en couloir avec haies vives. Les effets néfastes des feux de brousse annuels sur la prairie d'*Aristida* dégradent fortement la biomasse. Par conséquent, la fertilité des sols est devenue minimale.

Ainsi, les résultats de notre recherche pourraient servir utilement aux paysans pour accroître la fertilité des sols, même dégradés, et obtenir un meilleur rendement agricole. Ils contribueront ainsi efficacement au développement durable. Il n'est pas nécessaire de faire une jachère de longue durée si on pratique une forte densité de plantation.

SYMPOSIUM 4

Effet du semis direct sous couvert végétal sur l'infiltration et le ruissellement, et simulation du bilan hydrique dans les systèmes de culture à base de coton au Nord Cameroun

Guilhem SOUTOU¹, Krishna NAUDIN², Oumarou BALARABÉ³,
O. ADOUM⁴, Eric SCOPEL⁵

¹ ENSAM, Montpellier, France

² CIRAD-PERSYST, Antananarivo, Madagascar

³ IRAD/SODECOTON, BP 302, Garoua, Cameroun, obalarabe@yahoo.fr

⁴ SODECOTON/Projet ESA BP 302 Garoua, Cameroun

⁵ CIRAD-PERSYST, Brasília, Brésil

1. Introduction

Cette étude récapitule deux travaux d'ingénieur agronome réalisés sur l'effet des Systèmes de culture sur couverture végétale sur les propriétés physiques du sol et le bilan hydrique en culture cotonnière (Adoum O, 2005 et Soutou G. 2004). Elle s'est intéressée à l'infiltration et au ruissellement, à la profondeur du front d'humectation. Toutes ces informations ont permis alors de simuler le bilan hydrique de la culture cotonnière en fonction de l'itinéraire technique.

2. Matériels et méthodes

Cette étude a été menée à la fois sur des parcelles de coton en milieu contrôlé Zouana (itinéraire technique parfaitement maîtrisé) où les mesures les plus fines ont été réalisées, et en milieu paysan dans les villages de Mambang, M'bozzo, Kilwo, et Gawel recoupant la variabilité des sols rencontrés dans la zone.

3. Résultats et discussions

Infiltration de l'eau

Au moment du semis les valeurs d'infiltration sont plus élevées sur labour qu'en semis direct et sur les SCV à base de dolique. En fait, les meilleurs systèmes SCV (avec des plantes associées à fort développement racinaire telles que *Bracharia ruziziensis* et *Crotalaria retusa*) gardent une meilleure infiltration que leurs témoins labourés, traduisant une meilleure efficacité du « labour biologique ». En fin de cycle, les plus mauvaises valeurs de l'infiltration se retrouvent sur les témoins labourés et en semis direct, ressortant encore une fois l'effet court terme du travail du sol sur l'infiltration.

3.1. Ruissellement

Tableau 1 : Seuils et coefficient de ruissellement pour chaque parcelle

	Parcelle	% couverture du sol	S	α
Témoins	Semis direct	0	6.16	0.58
	Labour	0	5.63	0.41
SCV	Précédent sorgho + brachiaria	47.5	9.4	0.05
	Précédent sorgho + crotalaire	20	7.16	0.25

Les résultats du tableau montrent que globalement, les parcelles SCV ruissellent moins que les parcelles témoins. Un lien peut être établie avec les résultats de l'infiltration, en l'expliquant à la fois par un seuil S supérieur de 40% et un coefficient α moindre de 70% par rapport aux parcelles témoins.

La différence entre précédent brachiaria et précédent crotalaire s'explique par une couverture moins abondante et de moins bonne qualité sur la parcelle avec crotalaire. Les performances de cette dernière restent toutefois nettement supérieures à celles des parcelles témoins.

3.2. Modifications de l'offre en eau par les systèmes SCV : offre en eau en début de campagne

Tableau 2 : différence de la profondeur du front d'humectation entre parcelles SCV et témoins, test de student bilatéral avec échantillons appariés

Moyenne SCV	Moyenne témoin	D	Pr
36.6 A	26.7 B	37 %	2.10 ^{E-09}

Il ressort de l'analyse que PFH est très significativement supérieure en système SCV qu'en système conventionnel (tableau 4). Le gain est de 37%. Nous retrouvons ici la conséquence directe de la meilleure infiltration mise à jour avec les expériences de ruissellement.

3.3. Modifications de l'offre en eau par les systèmes SCV : offre en eau en phase de croissance et début de floraison

Tableau 3 : comparaison de l'humidité volumique sur les SCV et témoin (student bilatéral avec échantillons appariés, n=137)

Moyenne SCV	Moyenne témoin	D	P.
0.20 A	0.15 B	33 %	1.09 ^{E-19}

Le tableau 4 montre que l'offre en eau est très significativement supérieure avec les systèmes SCV, le gain est important puisqu'il est de 33%.

3.4. Modifications de la consommation en eau : bilan hydrique

Tableau 4: Bilan hydrique sur cotonnier, résultats des tests de Student sur les simulations. n=13.

	SCV	Témoin	Différence	Pr
Ruissellement (mm)	64 B	124 A	-48%	0,01
Drainage(mm)	87 A	49 B	77%	1E-04
Evapotranspiration réelle(mm)	327 A	277 B	18%	0,01

Le drainage Dr est plus important en SCV, ce qui découle de la meilleure

infiltration mise en évidence plus haut. Le bilan de l'eau consommée ETR est très significativement supérieur en système SCV. La meilleure offre en eau se traduit donc dans les simulations par une augmentation de la consommation de 18% en moyenne.

4. Conclusion

Cette étude a permis d'établir qu'il y a un meilleur effet des SCV sur l'infiltration et le ruissellement par rapport au semis direct et au labour, découlant de la différence observée pour les densités apparentes. De même, une meilleure offre en eau en début de cycle (profondeur du front d'humectation) et pendant la croissance et floraison (humidité volumique) est établie. L'effet positif de cette augmentation de l'offre en eau aura un impact sur la consommation en eau du cotonnier, directement liée au rendement en coton graine.

5. Bibliographie

- Adoum O. (2005). Effets des modes de culture sur les propriétés physiques du sol : comparaison du semis direct et systèmes de culture sur couverture végétale au Nord du Cameroun. Mémoire d'ingénieur agronome, FASA, Dschang, Cameroun.
- Brévault T, Bikay S, Naudin K.. (2005). Macrofauna pattern in conventional and direct seeding mulch-based cotton cropping systems in North Cameroon. In III^e world congress on conservation agriculture, Nairobi (African conservation tillage network).
- Boli Baboulé Z., Roose E, Bep Aziem B., Sanon K., Waechter F. (1996) Effets des techniques culturales sur le ruissellement, l'érosion et la production de coton et maïs sur un sol ferrugineux tropical sableux. Recherche de systèmes de culture intensifs et durables en région soudanienne du Cameroun (Mbissiri, 1991-92). Cahier ORSTOM Pédol. 28, 2 : 309-326.
- Franzen R., Lal R. Ehlers W (1993). Tillage and mulching effects on physical properties of a tropical alfisol. Soil and tillage research. 28 : 329-346.
- Naudin K., Balarabe O., Ségué L., Guibert H., Charpentier H., Boulakia S., Abou Abba A., Thézé M. (2005) A Four-year timeframe to develop and begin extension of direct seeding mulch-based cropping systems, in the cotton belt of North Cameroon.
- Scopel E., Chavez Guerra E., Tostado J.M. (1999). Le semis direct avec paillis de résidus dans l'ouest mexicain : une histoire d'eau ? Agriculture et développement no 21 pp 71-21.
- Soutou G. (2004). Modifications du bilan hydrique par les systèmes de culture sur couverture végétale : Cas du cotonnier et du sorgho dans l'Extrême- Nord du Cameroun. Mémoire de DAA. ENSAM Montpellier

« Conception et Réalisation couverture Zéro-Un » Tél : 03312 087 67
Edité et Imprimé par le Centre d'Information et de Documentation
de l'Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques
© ESSA – CID 2008
DL n° 001/06/08 100 exemplaires