

Evaluation des effets de systèmes de semis direct à couverture végétale pérenne (SCV) sur l'érosion hydrique et la production agricole sur les Hautes-Terres de Antsirabe (Madagascar)

Razafindramanana Norosoa Christine⁽¹⁾, Douzet Jean-Marie⁽²⁾, Barthès Bernard⁽³⁾, Rabeharisoa Lilia⁽¹⁾, Albrecht Alain⁽¹⁾

- (1) LRI/SRA (Laboratoire des Radio Isotopes - Service Radio Agronomie), Université d'Antananarivo et Institut de Recherche pour le Développement (IRD), Route d'Andraisoro, BP 3383, 101 Antananarivo - Madagascar.
- (2) CIRAD (Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement)- PERSYST (Performances des systèmes de production et de transformation tropicaux), URP-SCRiD (Unité de Recherche en Partenariat sur les Systèmes de Culture et de Riziculture Durable), BP 230 Antsirabe 110 - Madagascar.
- (3) IRD, UMR 210 Eco&Sols (Unité mixte de Recherche Ecologie Fonctionnelle & Biogéochimie des Sols)-INRA-IRD-Montpellier SupAgro -2 Place Pierre Viala (Bât.12), F-34060 Montpellier Cedex 1 - France.

Résumé

Cette étude vise à tester l'effet de systèmes de culture en semis direct sous couverture végétale permanente (SCV) pour contrôler l'érosion hydrique et améliorer le rendement de cultures pluviales sur versant des Hautes-Terres de Madagascar. L'essai a été entrepris sur un dispositif expérimental d'érosion à Andranomanelatra, sous pluies naturelles. Le dispositif comporte plusieurs traitements en SCV et en labour conventionnel (bêchage à l'angady) ainsi qu'un témoin avec sol nu et un autre en jachère herbacée spontanée. Pendant quatre campagnes, des mesures du ruissellement, des pertes en terre, de la hauteur de la pluie et de son intensité maximale ont été effectuées à chaque événement pluvial érosif. Des mesures de rendements ont également été réalisées à la fin de chaque campagne culturale.

Dans le contexte étudié, les résultats obtenus ont confirmé l'effet positif du système SCV sur la réduction du ruissellement et de l'érosion. Les ruissellements sur les parcelles labourées et sur la parcelle nue sont respectivement huit et quatorze fois plus élevés que sur les parcelles SCV. Les pertes en terre sur les parcelles labourées et la parcelle nue sont respectivement de 7,6 et 22,1 t/ha/an alors que sur les parcelles SCV, elles sont d'environ 0,13 t/ha/ an.

En général, les rendements en maïs et en riz pluvial obtenus sur les parcelles labourées et en SCV sous couverture morte ne diffèrent pas significativement. Mais les rendements en maïs et riz pluvial sont significativement plus faibles en SCV avec couverture vivante de *Brachiaria ruziziensis* que pour les parcelles labourées. En revanche, le rendement moyen en haricot est nettement et significativement plus élevé sur les parcelles SCV que sur les parcelles labourées.

Mots clés : semis direct, couverture du sol, labour, ruissellement, érosion, Madagascar

Introduction

Les Hautes-Terres malgaches sont connues pour les risques d'érosion hydrique (PCS, 1997). Les versants des collines à vocation agricole, appelés localement tanety, sont les plus touchés. Ils portent généralement des ferralsols désaturés avec une teneur en matières organiques peu élevée (Rabeharisoa, 2004). La pluviosité importante durant plus de six mois, la pratique du labour traditionnel répétée, sur une pente plus ou moins forte, et la faible utilisation des intrants agricoles contribuent à favoriser le phénomène d'érosion. Pour protéger les sols de versants, des techniques mécaniques antiérosives et des dispositifs biologiques de conservation des sols ont été proposés : bandes enherbées, terrasses en gradins, fossés d'infiltration et/ou de diversion, jachères améliorées, paillages, murettes, haies. Or, la dégradation de la production et l'érosion se poursuivent.

La question générale qui se pose est de gérer autrement les sols de tanety. Les pratiques d'intensification écologique peuvent apporter une réponse à ce questionnement, en particulier les systèmes de culture en semis direct sous couverture végétale permanente ou SCV. Ces systèmes ont été introduits à Madagascar par le CIRAD au début des années 1990 (AFD, 2006 ; Husson & Rakotondramanana, 2006). Ils suivent trois principes fondamentaux : l'absence de travail du sol, la présence en permanence de couverture végétale, et une rotation culturale judicieuse (AFD, 2006). Le SCV contrôlerait fortement l'érosion hydrique (Séguy *et al.*, 1996), du fait notamment de la présence de couverture morte ou vivante, qui diminue le ruissellement et l'érosion. La forte production de biomasse, issue de la restitution des résidus de cultures laissés en surface, permet un enrichissement en matière organique de l'horizon superficiel du sol (Six *et al.*, 2002). Cette matière organique participe au maintien de la structure du sol et améliore la pénétration de l'eau en profondeur (Jiao *et al.*, 2006).

Le SCV permettrait donc de contrôler l'érosion hydrique et de restaurer la fertilité des sols, et par voie de conséquence, améliorerait la production agricole. La présente étude est bâtie sur cette hypothèse. Elle a pour objectif principal de tester l'effet du SCV sur l'érosion hydrique et la production agricole dans la région du Vakinankaratra, sur les Hautes-Terres de Madagascar.

Matériel et Méthodes

Site d'étude

L'expérimentation a été conduite à Andranomanelatra, près d'Antsirabe, Région du Vakinankaratra, Hautes-Terres de Madagascar, à une altitude de 1640m, sous pluies naturelles. Le climat est de type tropical d'altitude à deux saisons : (1) un été chaud et humide, d'octobre à avril, durant lequel les précipitations sont abondantes, avec parfois des passages de cyclones qui peuvent être exceptionnellement agressifs ; et (2) un hiver austral, sec et frais, de mai à septembre, avec des précipitations occultes sous forme de rosées, de brouillards, avec parfois des risques de gel. La température et la pluviosité moyennes annuelles sont respectivement de l'ordre de 17°C et 1400 mm.

Le sol est de type ferrallitique argileux, variante andique, avec un taux d'argile souvent supérieur à 60%, des pH inférieurs à 5, une teneur moyenne en matière organique de 35 mgC.g⁻¹ de sol (à 0-20 cm), un rapport C/N de 12 à 14, une capacité d'échange cationique de 7 à 14 cmol.kg⁻¹ de sol, une teneur en macro-agrégats (> 0,2 mm) stables à l'éclatement dans l'eau (0-5 cm) élevée, de l'ordre de 670g.kg⁻¹ de sol (Rabeharisoa, 2004 ; Razafimbelo *et al.*, 2006).

Dispositif expérimental

Le dispositif a été installé en 2004 par le CIRAD et le Centre National de la Recherche Appliquée au développement Rural (FOFIFA), regroupés dans l'URP-SCRiD. Le terrain du dispositif est une ancienne jachère de six ans, il a été occupé par des végétations graminéennes, dont *Aristida sp* (Kifafa en malgache) et *Cynodon dactylon* (Fandrotrarana en malgache). Il est situé sur un versant exposé au nord, sur une pente variant de 10 à 13%.

Le dispositif comprend 20 parcelles élémentaires de 48 m² placées les unes à côtés des autres, groupées en quatre blocs de cinq traitements ; deux parcelles d'érosion, considérées comme témoins, l'une maintenue nue et l'autre en jachère herbacée naturelle.

Pour mesurer le ruissellement et l'érosion, quinze parcelles d'érosion (21 m²) ont été intégrées sur les parcelles élémentaires. Chaque parcelle d'érosion (**Figure 1**) est ceinturée par des tôles légèrement enfoncées dans le sol pour éviter les entrées d'eau de l'extérieur et les sorties des eaux de ruissellement de l'intérieur. Par le biais d'un exutoire-tuyau, les eaux ruisselées dans les parcelles d'érosion sont déversées directement dans des fûts collecteurs équipés de partiteurs 1/5 (Hudson, 1993 ; Roose, 1994). Une partie de chaque parcelle élémentaire n'est pas ceinturée de tôles, afin de réaliser des prélèvements et mesures sans perturber l'autre partie de la parcelle, où est caractérisée la dynamique de l'eau et des sédiments.

Traitements

Le dispositif expérimental comporte plusieurs systèmes en SCV ou en labour traditionnel (LAB) réalisé à l'aide de l'angady (sorte de bêche) jusqu'à 30 cm de profondeur. Pour évaluer l'effet du mode de gestion, dans l'ensemble des parcelles cultivées, les doses des intrants apportés sont les mêmes : fumier (5 Mg.ha⁻¹.an⁻¹) ; dolomie (0,5 Mg.ha⁻¹.an⁻¹) ; engrais minéral N₁₁P₂₂K₁₆ (0,3 Mg.ha⁻¹.an⁻¹) ; urée (0,1 Mg.ha⁻¹.an⁻¹).

Les cinq systèmes testés sont inspirés de ceux des paysans de la région du Vakinankaratra, et sont basés sur une rotation biennale comportant en première année le maïs (*Zea mays*) associé au haricot (*Phaseolus vulgaris*), et en deuxième année le riz pluvial (*Oriza sp*) en culture pure.

Les caractéristiques des systèmes testés sont les suivantes :

- LABexp : parcelles labourées à l'angady tous les ans, à partir de l'année 2006 les résidus de récoltes sont exportés des parcelles ;
- LABenf : parcelles labourées à l'angady tous les ans, mais les résidus des récoltes sont enfouis sur les parcelles ;
- SCVlab : parcelles labourées à l'angady en 2004, puis dès la campagne 2005-2006, le SCV à couverture morte est appliqué sur ces parcelles ;
- SCVm : parcelles SCV avec couverture végétale permanente morte, issue des résidus de récolte de l'année précédente ;
- SCVv : parcelles SCV avec couverture végétale permanente vivante de *Brachiaria ruziziensis* (graminée) ;
- NUE : parcelle témoin maintenue nue par un labour annuel et des sarclages réguliers ;
- JC : parcelle témoin entièrement couverte de végétation herbacée spontanée.

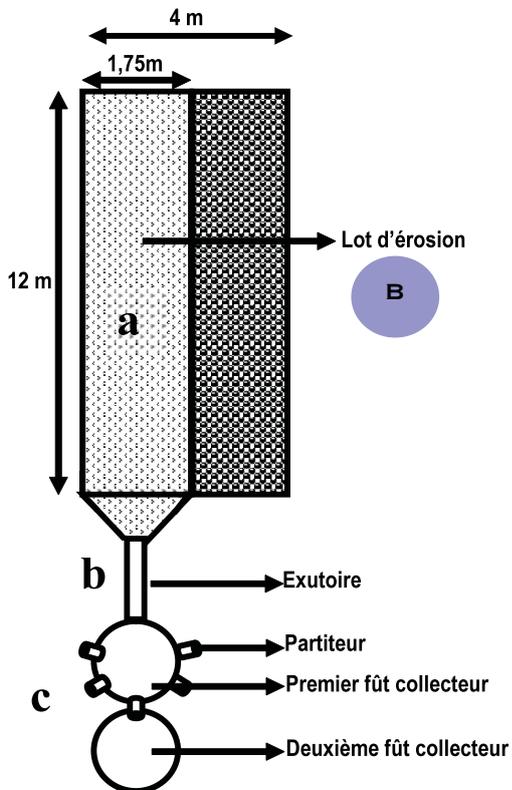


Figure 1. Une parcelle d'érosion (A et B) et station météorologique automatique CIMEL (C)
Prise de vues et croquis de Razafindramanana Norosoa C.

Mesures et prélèvements d'échantillons

Pendant quatre campagnes culturales consécutives, 2005-2006, 2006-2007, 2007-2008 et 2008-2009, des mesures de la hauteur de la pluie, de son intensité maximale (en 6 minutes), du ruissellement et des pertes en terre ont été réalisées après chaque épisode pluvial érosif.

Hauteur et intensité maximale de la pluie

Sur la station météorologique automatique CIMEL (figure 1), installée à côté du dispositif expérimental, l'intensité maximale de la pluie en 6 minutes (mm.h^{-1}) et sa hauteur (mm) ont été enregistrées. L'intensité de la pluie correspond au pic maximal de pluie enregistré sur six minutes consécutives et ramené en mm.h^{-1} .

Ruissellement

Le ruissellement est calculé en mesurant la hauteur d'eau collectée dans les fûts, qui fournit le volume ruisselé (L). Le rapport entre le volume ruisselé et la superficie de la parcelle d'érosion (m^2) donne la hauteur ruisselée (mm). L'opération de mesure de ruissellement s'effectue avant le nettoyage des fûts. La hauteur de ruissellement est ensuite cumulée sur la campagne et rapportée à la hauteur de pluie pour calculer le taux de ruissellement (mm.mm^{-1}).

Pertes en terre

Les pertes en terre correspondent à la masse de sol exportée par le ruissellement pendant un épisode pluvial érosif pour une surface donnée (Mg.ha^{-1}). Elles sont déterminées à partir du rapport entre la quantité des sédiments recueillis dans les fûts et la superficie de la parcelle d'érosion. Les sédiments grossiers ont été récupérés en nettoyant le réceptacle, le tuyau, et en grattant le fond des fûts ; ils ont ensuite été pesés, puis une aliquote a été séchée à l'étuve puis pesée à nouveau pour estimer le poids sec des sédiments grossiers. Les sédiments fins en suspension ont été estimés en prélevant une aliquote de l'eau contenue dans les fûts, après homogénéisation (agitation). Sur les fûts pleins, des prélèvements ont été effectués au fond, au milieu et en haut (0,5 l de chaque), de telle sorte qu'une aliquote de 1,5 litre soit prélevée. Sur les fûts remplis à moitié, un prélèvement d'aliquote de 1,5 l a été réalisé au milieu du fût. L'aliquote de 1,5 l, considérée comme représentative des eaux du ruissellement, a été filtrée sur un papier filtre d'une porosité de $0,45 \mu\text{m}$. Le filtre a été séché à l'étuve à 105°C pendant 24 heures. Le rapport entre le poids de sédiments secs (grossiers et fins) et la surface d'une parcelle d'érosion donne les pertes en terre en Mg.ha^{-1} . Celles-ci sont ensuite cumulées sur la campagne.

Rendements agricoles

Le rendement agricole (Mg.ha^{-1}) a été déterminé à partir du poids de la matière sèche (MS) de la biomasse végétale recueillie sur une surface connue. Pour le maïs et le haricot, une récolte intégrale sur toutes les parcelles (48 m^2) a été effectuée, et le poids de la matière fraîche a été mesuré sur terrain. Les parties récoltables (grains) et non récoltables (pailles, feuilles, tiges, etc.) ont été pesées séparément. Une aliquote a été recueillie, et mise à l'étuve durant 72 heures à une température de 60°C . Le rapport du poids de la matière sèche et de la surface du prélèvement donne le rendement agricole. La même méthode a été appliquée pour la détermination du rendement en riz (grains vannés et paille), mais les deux lignes de bordure autour de chaque parcelle n'ont pas été prises en compte. Dans ce cas, la surface du prélèvement s'est trouvée réduite à 36 m^2 .

Traitement des données

Les données ont été traitées à l'aide du logiciel XLSTAT. Elles ont été comparées entre elles par le test de Tukey (test de comparaisons multiples pour la variable Moyenne). Pour l'acceptabilité ou le rejet de l'hypothèse nulle (H_0), le seuil de probabilité a été fixé à 5 %.

Résultats

Caractéristiques des pluies

Les caractéristiques annuelles des pluies, hauteur et intensité maximale, sont présentées dans le tableau 1. L'observation mensuelle du cumul de la pluie montre que la période la plus arrosée se situe généralement entre décembre et janvier, durant laquelle les précipitations sont abondantes et fréquentes. Pendant ces deux mois, le cumul des pluies peut dépasser 500 mm (515 mm en 2007-2008) voire 1000 mm (1005 mm en 2006-2007). L'analyse de la pluviosité annuelle durant quatre ans montre une alternance entre une année humide et une année moins arrosée : 2006-2007 et 2008-2009 sont considérées comme des années humides, la précipitation moyenne durant la saison des pluies s'élevant à 1530 mm ; 2005-2006 et 2007-2008 sont des années moins arrosées, où la précipitation moyenne pendant la saison des pluies est de 1065 mm.

L'intensité de la pluie varie également en fonction de l'année. La saison des pluies 2008-2009 se distingue des autres. Ainsi, l'intensité de la pluie moyenne (32 mm.h⁻¹) et le nombre des événements pluviaux érosifs (60 jours) sont plus importants par rapport aux autres années.

Tableau 1. Bilan des caractéristiques des pluies durant les quatre années de mesures.

Année	Hauteur de la pluie										Intensité de la pluie			Nbr jours de pluie	Nbr pluies érosives*
	-----mm-----										-----mm.h ⁻¹ -----				
	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Total	Max	Min	Moy		
2005-06	0	108	462	118	107	209	67	0	0	1070	150	5	25	95	40
2006-07	25	155	306	699	206	83	51	17	0	1540	115	5	21	121	53
2007-08	3	189	278	238	185	111	44	13	0	1059	105	5	19	116	40
2008-09	129	228	248	336	227	224	114	0	15	1520	170	5	32	117	60

Max : maximale ; Min : minimale ; Moy : moyenne.

* L'analyse des données pluviométriques durant quatre ans indique que les pluies érosives sont celles ayant une intensité maximale supérieure à 10 mm.h⁻¹ et une hauteur supérieure à 7mm.

Ruissellement et pertes en terre

Le ruissellement et les pertes en terre varient selon le mode de gestion (tableau 2). Le ruissellement annuel moyen sur les parcelles labourées (LABexp et LABenf) et sur la parcelle nue (NUE) est respectivement huit fois (8%) et quatorze fois (14%) supérieur à celui des parcelles SCV (1%). Le ruissellement annuel moyen est plus faible sur SCV que sur jachère naturelle (JC : 2 %).

La différence de pertes en terre entre système labouré et SCV est également significative. Les moyennes obtenues indiquent clairement que les pertes en terres annuelles moyennes sur les parcelles labourées (7,6 t/ha/an) et la parcelle nue (22,1 t/ha/an) sont plus élevées par rapport aux parcelles SCV (0,13 t/ha/an). Les pertes en terre sur la parcelle sous végétation spontanée herbacée sont les plus faibles (0,04 t/ha/an).

L'analyse des données entre les systèmes SCV indique que le ruissellement annuel ne diffère pas significativement sur les parcelles SCVlab, SCVm et SCVv. Les pertes en terre annuelles sont significativement plus élevées en 2005-2006 sur les parcelles SCVlab (labourées en début d'expérimentation) que sur les autres parcelles en SCV, mais la différence n'est plus significative ensuite. Par ailleurs, ruissellement et pertes en terre annuels ne diffèrent pas significativement entre types de labour (sauf les pertes en terre en 2006-2007, plus élevé avec exportation qu'avec enfouissement des résidus).

Tableau 2. Ruissellement et pertes en terre selon les modes de gestion et les campagnes.

Systèmes étudiés	Taux de ruissellement annuel mm.mm ⁻¹								Moyenne sur quatre ans
	2005-2006		2006-2007		2007-2008		2008-2009		
LABexp	0,08 ±0,01	a	0,04±0,01	a	0,07±0,03	a	0,12±0,01	a	0,08±0,03
LABenf	0,07 ±0,01	a	0,03±0,00	a	0,08±0,01	a	0,11±0,02	a	0,07±0,03
SCVlab	0,01±0,00	b	0,01±0,00	b	0,01±0,00	b	0,02±0,00	b	0,01±0,00
SCVm	0,01±0,00	b	0,01±0,00	b	0,01±0,00	b	0,02±0,00	b	0,01±0,00
SCVv	0,01±0,00	b	0,01±0,00	b	0,01±0,00	b	0,01±0,00	b	0,01±0,00
NUE	0,10		0,15		0,12		0,19		0,14±0,04
JC	0,02		0,01		0,02		0,02		0,02±0,00

Systèmes étudiés	Pertes en terre annuelles Mg.ha ⁻¹								Moyenne sur quatre ans
	2005-2006		2006-2007		2007-2008		2008-2009		
LABexp	9,58 ± 1,82	a	2,70 ± 2,28	a	3,37 ± 1,04	a	15,28 ± 3,12	a	7,73±5,67
LABenf	9,44 ± 1,50	a	1,06 ± 0,32	ab	4,09 ± 0,84	a	15,25 ± 2,71	a	7,46±5,81
SCVlab	0,19 ± 0,03	b	0,12 ± 0,04	b	0,13 ± 0,04	b	0,28 ± 0,22	b	0,18±0,12
SCVm	0,07 ± 0,02	b	0,08 ± 0,03	b	0,12 ± 0,04	b	0,20 ± 0,11	b	0,12±0,08
SCVv	0,08 ± 0,03	b	0,06 ± 0,01	b	0,07 ± 0,04	b	0,10 ± 0,05	b	0,08±0,03
NUE	14,85		24,33		11,4		37,81		22,10±11,82
JC	0,08		0,04		0,02		0,03		0,04±0,03

Moyennes ± écart-types (n=3)

Une même lettre indique une absence de différence significative entre les systèmes étudiés pour une même campagne au seuil de 5% (p < 0,05) d'après le test de Tukey.

Rendements agricoles

Les résultats sont réunis dans le tableau 3.

Tableau 3. Rendements agricoles pour les systèmes étudiés durant quatre campagnes culturales.

Année	Culture	Rendement	Labour conventionnel			Semis direct	
			LABexp	LABenf	SCVlab	SCVm	SCVv
2005-2006	Riz	Grains	1,47 ±0,49 a	1,26 ±0,47 a	1,05 ±0,46 ab	0,76 ±0,31 ab	0,29±0,16 b
		Paille	3,53 ±0,42 a	2,53±0,53 b	2,18±0,31 bc	1,45±0,39 cd	0,56±0,29 d
2006-2007	Maïs	Grains	1,69±0,54 ab	2,15±0,10 a	1,51±0,23 ab	1,70±0,21 ab	1,32±0,31 b
		Paille	2,87±0,48 a	2,79±0,62 a	2,46±0,94 a	2,52±0,43 a	2,93±0,35 a
	Haricot	Grains	0,48±0,20 b	0,47±0,17 b	0,83±0,09 a	0,86±0,06 a	<i>Brachiaria</i>
		Paille	0,83±0,16 ab	1,05±0,16 a	0,56±0,08 b	0,88±0,15 a	<i>Brachiaria</i>
2007-2008	Riz	Grains	1,47±0,10 ab	1,57±0,18 a	1,69±0,43 a	1,80±0,28 a	1,06±0,32 b
		Paille	7,08±2,64 a	4,54±0,25 ab	5,23±0,85 ab	6,63±2,05 ab	3,28±1,01 b
2008-2009	Maïs	Grains	2,54± 0,40 a	2,87± 0,34 a	2,90± 0,67 a	2,89± 0,26 a	2,54± 0,47 a
		Paille	5,99± 0,87 a	7,04 ±0,65 a	7,15 ± 1,16 a	7,20 ± 0,40 a	6,61± 0,82 a
	Haricot	Grains	0,33±0,05 c	0,42±0,10 bc	0,48±0,05 b	0,69±0,10 a	<i>Brachiaria</i>
		Paille	0,48±0,08 c	0,60±0,13 bc	0,70±0,17 ab	0,83±0,12 a	<i>Brachiaria</i>
2005-2006 au 2008-2009		Moyenne MS total	Parcelles labourées	2,21 ±1,94	Parcelles en SCV	2,17 ±2,01	

Moyennes ± écarts-types (n=4).

Paille : parties non récoltables (feuilles, tiges, paille, etc.).

MS : matière sèche

Une même lettre indique une absence de différence significative entre systèmes pour une année au seuil de 5% (p < 0,05) d'après le test de Tukey.

En général, les rendements en grains et en paille de riz ne diffèrent pas significativement entre les parcelles labourées et les parcelles SCVlab et SCVm, sauf pour la paille en 2005-2006 (plus de paille avec labour qu'avec SCVlab et SCVm). Mais en général les rendements en grains et paille de riz sont significativement plus élevés sur les parcelles labourées que sur les parcelles SCV sous couverture végétale vivante (SCVv), surtout en 2005-2006.

Les rendements en grains et paille de maïs ne diffèrent pas significativement entre traitements, sauf en 2007-2008, où les parcelles labourées avec résidus enfouis (LABenf) ont produit significativement plus de grains que celles en SCV sous couverture vivante (SCVv).

En général, les rendements en grains de haricot sont significativement plus élevés avec SCV qu'avec labour (sauf en 2008-2009 : pas de différence significative entre SCVlab et LABenf). L'effet des traitements sur le rendement en résidus de haricot est moins net : ce rendement tend à être plus élevé en labour qu'en SCV en 2006-2007, mais c'est l'inverse en 2008-2009.

L'analyse de moyennes en matières sèches sur quatre ans (rendement en grains et en paille) a montré qu'il n'existe pas de différence significative entre le rendement sur les parcelles labourées ($2,21 \pm 1,94 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$) et le semis direct ($2,17 \pm 2,01 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$) (tableau 3).

Bref, dans l'ensemble, les différences de rendement entre labour et SCV sont donc peu significatives, surtout pour les grains, sauf (i) pour le haricot, plus productif avec SCV qu'avec labour, et (ii) pour le SCV avec couverture vivante (SCVv), moins productif que le labour surtout en début d'expérimentation.

Discussion

Ruissellement et pertes en terre

Les bilans des études antérieures sur l'érosion des Hautes-Terres malgaches montrent que les pertes en terres sur les sols cultivés sans dispositif antiérosif varient, à l'échelle de la parcelle, de 4 à 24 t/ha/an, avec une moyenne de 6,7 t/ha/an et une médiane de 4 t/ha/an (PCS, 1997 ; Ratsivalaka *et al.*, 2007 ; Remamy, 2005). Par rapport à ces valeurs publiées, les pertes en terre sous labour à Andranomanelatra, de l'ordre de 7,6 t/ha/an, avoisinent cette moyenne. Avec semis direct et couverture végétale, le ruissellement et les pertes en terre ont diminué d'une manière significative. Cette réduction a été observée dès la mise en place du dispositif en 2004.

Plusieurs raisons peuvent être avancées pour expliquer cette différence. En effet, sur les parcelles labourées, le sol fraîchement travaillé en octobre est exposé directement à l'agressivité des premières pluies érosives d'octobre, novembre et décembre, ce qui occasionne des pertes en terre et du ruissellement importants lorsque les plantes cultivées ne sont pas encore suffisamment développées pour intercepter les gouttes des pluies.

À l'opposé, sur les parcelles SCV (SCVlab, SCVm et SCVv) et la parcelle en jachère herbacée (JC), la couverture vivante ou morte intercepte les gouttes des pluies, dont une fraction infime atteint directement le sol. Cette couverture piège aussi les sédiments érodés qui pourraient être transportés par le ruissellement (Bochet *et al.*, 2000) et maintient le sol en place, grâce aux systèmes racinaires qui agissent comme un agent de liaison entre les agrégats du sol (Angers & Caron, 1998) et améliore ainsi sa structure (Abernethy & Rutherford, 2000 ; Six *et al.*, 2002). Plusieurs études ont également rapporté que le système SCV augmente la teneur en matière organique (MO) du sol. Cette augmentation de la teneur en MO sous système SCV atténue aussi les risques d'érosion : Ekweue (1993) et Le Bissonnais & Arrouays (1997) ont montré que l'érodibilité du sol est corrélée négativement avec sa teneur en MO.

Arrière effet du labour sur le comportement du sol

A l'issue de cette étude, il a été également montré que parmi les trois systèmes SCV étudiés (SCVlab, SCVm et SCVv) les pertes en terre sur les parcelles SCVlab sont significativement différentes des autres en 2005-2006. Rappelons que les parcelles SCVlab ont été labourées en 2004, ce qui explique les différences observées en 2005-2006. Pour les autres années, l'effet du labour n'est plus visible.

Mécanisme déterminant la réduction des pertes en terre sur les parcelles SCV à Andranomanelatra

L'expérimentation menée à Andranomanelatra a confirmé l'effet positif du système SCV sur la réduction du ruissellement et des pertes en terre. La relation entre l'intensité de la pluie et le ruissellement d'une part et l'intensité de la pluie et la turbidité d'autre part permet de mieux expliquer cette réduction (Figure 2).

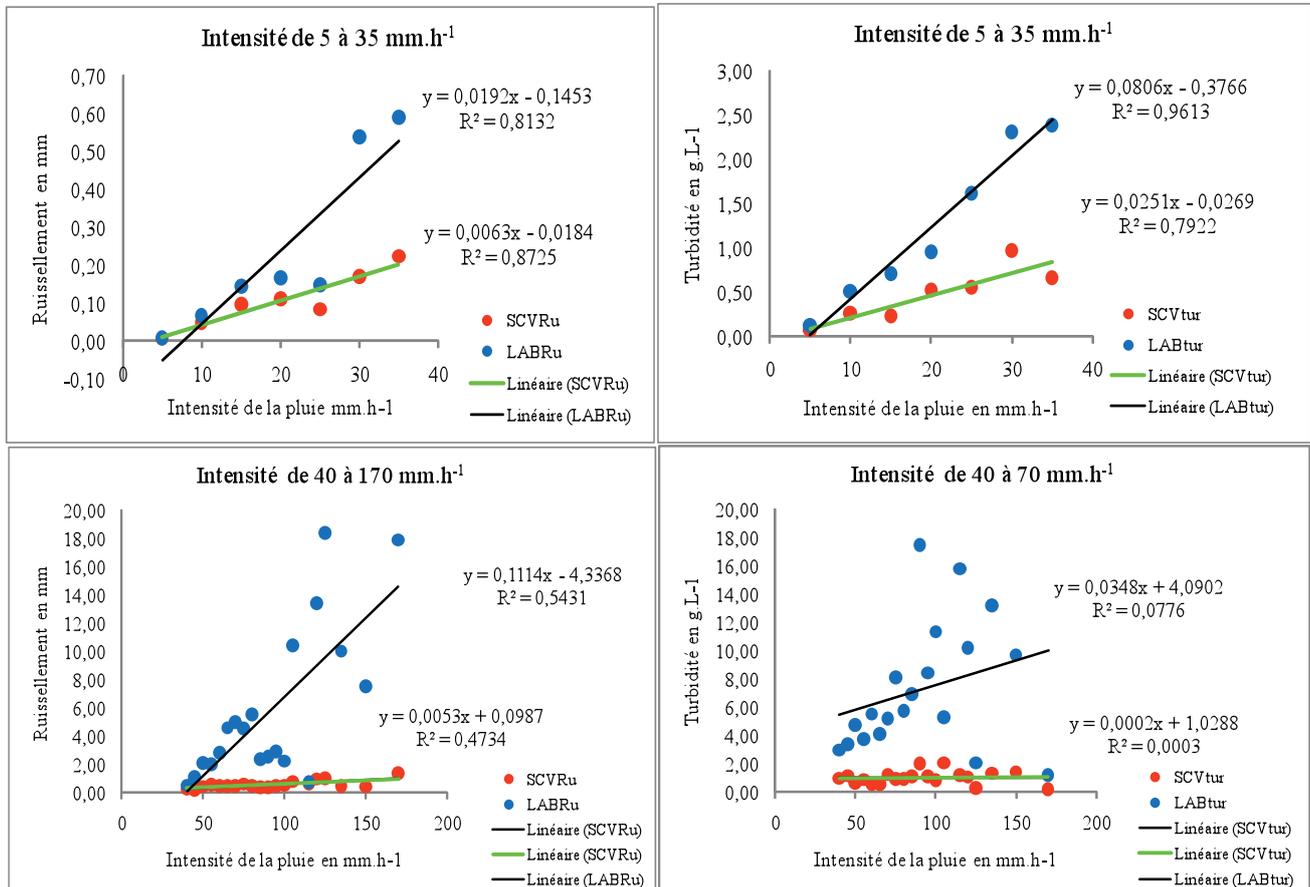


Figure 2. Relation entre intensité de la pluie et ruissellement (Colonne 1)-Relation entre intensité de la pluie et turbidité (Colonne 2)

L'étude de relation entre le ruissellement et l'intensité de la pluie, pour tous les épisodes pluvieux de quatre campagnes a montré qu'il existe une corrélation significative entre les deux variables. Ceci est valable pour les deux systèmes étudiés.

L'étude de relation entre l'intensité et la turbidité a montré que pour une intensité de 5 à 35 mm.h⁻¹, il existe une corrélation significative entre les deux variables. Mais, entre 40 et 170 mm.h⁻¹, les sols des parcelles labourées et les parcelles SCV se comportent différemment. Sur les parcelles labourées, la turbidité des eaux ruisselantes dépend toujours de l'intensité de la pluie. Sur les parcelles SCV, la turbidité tend toutefois à devenir constante.

Les résultats de nos expérimentations indiquent que la couverture sur les parcelles SCV contrôle plus la turbidité que le ruissellement, surtout sous très forte pluie (intensité supérieure à 40mm.h⁻¹). Le SCV est donc une pratique antiérosive qui protège le sol agricole contre les pluies abondantes et intenses, caractéristiques des pays tropicaux.

Rendement des cultures

Les analyses sur le rendement en grains du riz et du maïs ont montré qu'il n'existe pas de différence significative entre les systèmes labourés (LABenf et LABexp) et les deux systèmes

SCVlab et SCVm. Mais il a été observé que le rendement sur les parcelles à couverture végétale vivante à base de *Brachiaria ruziziensis* (SCVv) est le plus faible. Ce résultat est en accord avec ceux rapportés par Naudin (2005), qui a observé que les rendements en maïs sont plus faibles en SCV avec *Brachiaria* qu'en labour conventionnel. Cette réduction du rendement sur les parcelles SCVv est expliquée en grande partie par la capacité de *Brachiaria ruziziensis* à se développer très rapidement et à utiliser les éléments nutritifs contenus dans le sol (Husson *et al.*, 2008). Cette situation crée un effet dépressif sur les autres plantes cultivées dès le début du cycle, et a un impact négatif sur le rendement ultérieur. Toutefois, lors de la dernière campagne (2008-2009), il y a une nette amélioration des rendements sur les parcelles SCVv, et les différences avec les rendements sur labour ne sont plus significatives. On peut supposer que l'enrichissement du sol en matière organique grâce à la couverture de *Brachiaria* permet finalement de compenser la compétition exercée par cette couverture vive sur les autres plantes cultivées.

Pour le haricot, les rendements en grains obtenus sur labour sont inférieurs à ceux obtenus sur SCV avec couverture morte (SCVlab et SCVm). Cette différence a été observée dès la mise en place du dispositif expérimental en 2004 (Remamy, 2005).

Conclusion

1. L'expérimentation menée à Andranomanelatra montre que le système de semis direct sous couverture végétale permanente est une pratique conservatrice pour les sols et les eaux. Elle réduit considérablement le ruissellement et les pertes en terre. L'effet de la couverture est plus efficace sous des pluies intenses. Selon l'indication du quatrième rapport du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'évolution du Climat (GIEC) en 2007, le réchauffement climatique provoquera probablement une augmentation de la fréquence des événements de forte précipitation sur la plupart des régions, avec un risque accru d'érosion des sols. Le système SCV est un moyen de lutte antiérosif adéquat pour faire face au problème climatique.
2. Après quatre années d'expérimentation, les différences de rendement en riz pluvial, maïs et haricot entre labour et semis direct sous couvert sont faibles.

Remerciements

Pour le soutien technique et financier de la présente étude, nous remercions vivement : l'IRD (Institut de Recherche pour le Développement, le LRI (Laboratoire des Radio Isotopes), le CIRAD (Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement), l'URP-SCRiD (Unité de Recherche en Partenariat sur les Systèmes de Culture et de Riziculture Durable) à Andranomanelatra, le SCAC (Service de Coopération et d'Action Culturelle), l'AUF (Agence Universitaire de la Francophonie) et l'IFS (International Foundation for Science).

Références bibliographiques

- Abernethy B & Rutherford I.D., 2000 - The effect of riparian tree roots on the mass-stability of riverbanks. *Earth Surface Processes Landforms*. 25: 921-937.
- AFD (Agence française de développement), 2006 - Le semis direct sur couverture végétale permanente (SCV). Paris, France.
- Angers D.A & Caron J., 1998 - Plant-induced changes in soil structure: processes and feedbacks. *Biogeochemistry* 42: 55-72.
- Bochet E., Poesen J., Rubio J.L., 2000 - Mound development as an interaction of individual plants with soil, water erosion and sedimentation processes on slopes. *Earth Surface Processes Landforms*. 25: 847-867.

- Ekweue E.I., Ohu J.O., Wakawa I.H., 1993 - Effect of incorporation two organic materials at varying levels on splash detachment of some soils from borno State, Nigeria. *Earth Surface Processus and Landforms* 18: 399-406.
- GIEC (Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'évolution du Climat), 2007- Bilan 2007 des changements climatiques : Rapport de synthèse. 103p.
- Hudson N.W., 1993 - Field measurement of soil erosion and runoff. *FAO Soils Bulletin* 68: 139 p.
- Husson O., Charpentier H., Razanamparany C., Moussa N., Michellon R., Naudin K., Razafintsalama H., Rakotoarivivo C., Rakotondramanana., Séguy L., 2008 - Fiches techniques plantes de couverture : Graminées pérennes : *Brachiaria spp.* 20 p. Document obtenu sur le site Cirad du réseau <http://agroecologie.cirad.fr>.
- Husson O. & Rakotondramanana., 2006 - Voly rakotra, Mise au point, évaluation et diffusion des techniques agro-écologiques à Madagascar. Articles et posters présentés au Troisième Congrès Mondial d'Agriculture de Conservation, Nairobi, Kenya, Octobre 2005. Groupement Semis Direct de Madagascar (GSDM): 67 p.
- Jiao Y., Whalen J.K., Hendershot W.H., 2006 - No-tillage and manure applications increase aggregation and improve nutrient retention in a sandy-loam soil. *Geoderma* 92:111-123.
- Le Bisonnais Y. & Arrouays D., 1997 - Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility : application to humic loamy soil with various organic carbon contents. *European Journal of Soil Science* 48: 39-48.
- Naudin K., Balarabe O., Aboubakary., 2005- Système de culture sous couverture végétale : Projet ESA Nord Cameroun, Résultats campagne 2004, I. Synthèse. 65 p.
- PCS (Projet de conservation des sols), 1997 - Bilan et évaluation des travaux et réalisations en matière de conservation des sols à Madagascar : conservation des sols et érosion. Atlas de carte et de photographie mars 1997. Centre de documentation IRD Madagascar. 501 p.
- Rabeharisoa Lilia., 2004 - Gestion de la fertilité et de la fertilisation phosphatée des sols ferrallitiques des Hautes-Terres de Madagascar. Thèse de Doctorat d'Etat ès Sciences Naturelles- Université d'Antananarivo-Faculté des Sciences - Département de Biologie et Ecologie végétales: 196 p.
- Ratsivalaka S., Andriamampianina, Andriamihamina, Randriamboavonjy, Mietton, Puech., 2007 - Restauration et gestion de la fertilité des sols du bassin versant de Maniandro sur les Hautes Terres Centrales de Madagascar. Acte des JSIRAUF (Journées Scientifiques Inter-Réseaux de l'Agence Universitaire de la Francophonie), Hanoi, 6-9 novembre 2007. 7 p
- Razafimbelo T., Albrecht A., Basile I., Borschneck D., Bourgeon G., Feller C., Ferrer H., Michellon R., Moussa N., Muller B., Oliver R., Razanamparany C., Seguy L., Swarc M., 2006 - Effet de différents systèmes de culture à couverture végétale sur le stockage du carbone dans un sol argileux des Hautes Terres de Madagascar. *Etude et Gestion des sols* 13: 113-127.
- Remamy, R., 2005 - Quantification des ruissellements et d'érosion sur défriche des Hautes-Terres de Madagascar : labour et semis direct sur couverture végétale permanente. Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention d'un diplôme d'Ingénieur Agronome de l'Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques: Département Agriculture: 56 p.
- 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* 70: 420 p.
- Séguy L., Bouzinac S., Trentin A., Côrtes N.A., 1996 - L'agriculture brésilienne des fronts pionniers. *Agriculture et développement* 12 : 1-76.
- Six J., Conant T., Paul A. et Paustian K., 2002. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. *Plant and Soil* 241: 155-176.



Ambassade de France en Haïti

Lutte antiérosive, réhabilitation des sols tropicaux et protection contre les pluies exceptionnelles

Editeurs scientifiques

Eric ROOSE, Hervé DUCHAUFOUR et Georges DE NONI

avec le soutien de

l'Université d'État d'Haïti

l'Université de Quisqueya

le SCAC de l'Ambassade de France en Haïti

l'Institut de recherche pour le développement (IRD)

IRD EDITIONS

Marseille, 2012