

Influences de diverses techniques culturales (SCV-labour) sur l'érosion et le rendement en maïs, riz, haricots sur ferralsols des Hautes-Terres malgaches.

Razafindramanana Rakotoniaina N-C.⁽¹⁾⁽²⁾, Douzet J-M⁽³⁾, Barthès B.⁽⁴⁾,
Rabeharisoa L-R.⁽²⁾, Albrecht A.⁽⁴⁾

- (1) Université d'Antananarivo - Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, BP 175. 101 Antananarivo-Madagascar : cnrosoa_00389@yahoo.fr
 (2) LRI (Laboratoire des Radio-isotopes), BP 3383, 101 Antananarivo-Madagascar : lrabehar@refer.mg
 (3) CIRAD, Département PERSYST, UR SCA, TA B 102/07, Avenue d'Agropolis 34398 Montpellier cedex 5 France : jean-marie.douzet@cirad.fr
 (4) IRD, UMR 210 Eco&Sols -2 Place Pierre Viala (Bât.12), F-34060 Montpellier Cedex 1 - France. : alain.albrecht@ird.fr et bernard.barthes@ird.fr

Résumé

Vue la dégradation de la productivité des sols labourés, il fallait tester l'effet du semis direct sous litière végétale pour contrôler l'érosion hydrique et améliorer le rendement de cultures pluviales sur les Hautes-Terres centrales malgaches. L'essai a été entrepris sur un dispositif de parcelles d'érosion à Andranomanelatra, sous pluies naturelles. Le dispositif compare plusieurs traitements en semis direct au labour conventionnel (bêchage à l'angady). Des mesures du ruissellement, de l'érosion et du rendement des cultures principales ont été effectuées durant quatre campagnes culturales. Les résultats ont confirmé l'effet positif des systèmes de semis direct pour contrôler le ruissellement et l'érosion. Par contre les systèmes en semis direct n'améliorent pas automatiquement les productions. En effet, les rendements en grain de haricot sont significativement plus élevés sur les parcelles en semis direct que labourées. Alors que pour les rendements en maïs et en riz pluvial, d'une manière générale, ils sont significativement plus faibles en semis direct avec couverture vivante à base de *Brachiaria ruziziensis* que pour les parcelles labourées. Au fil du temps, il y a une nette augmentation des rendements en grain du riz et de maïs pour l'ensemble des traitements étudiés, avec une hausse encore plus visible sous systèmes en semis direct.

Mots-clés : Madagascar, Ruissellement, Pertes en terre, Cultures pluviales, Systèmes en semis direct, Systèmes conventionnels de labour, *Brachiaria ruziziensis*

Abstract

The purpose of this study was to test the potential of no-tillage management to control erosion and improve crop yields in the Central Highlands of Madagascar. This study carried out Andranomanelatra under natural rainfall conditions. Conventional tillage and direct seeding system were imposed and compared in the experimental design. Runoff, erosion rates and crop yield were measured during four cropping periods. The results showed that direct seeding systems were significantly better controlling erosion rates compared to conventional tillage system. But direct seeding system does not systematically improve crop yield after 4 years. Indeed, common bean grain yields were greatest on direct seeding system than conventional tillage system. In the over hand, maize and rainfed rice yield were significantly lower in direct seeding mulch-based systems using living mulches (*Brachiaria ruziziensis*) than conventional tillage system. Over time, there is a real increase in rice and maize grain yields for all treatments studied with a larger increase in direct seeding system than conventional tillage system.

Key-words: Madagascar, Runoff, Soil loss, Rainfed agricultural, Direct seeding system, Conventional tillage system, *Brachiaria ruziziensis*

1. Introduction

Les Hautes-Terres malgaches sont connues pour les risques d'érosion hydrique (PCS, 1997). Les versants de 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 conventionnel, les sarclages répétés sur une pente plus ou moins forte et la faible utilisation des intrants agricoles contribuent à favoriser l'érosion hydrique. Pour protéger les sols de versants de collines, des techniques mécaniques antiérosives et des dispositifs biologiques de conservation de sols ont été proposés : les bandes enherbées, les terrasses en gradins, les paillasses, les haies vives, les jachères de légumineuses, etc. 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, en particulier les systèmes de culture en semis direct sous couverture végétale permanente ou systèmes SCV. Les systèmes SCV ont été introduits à Madagascar au début des années 1990, afin de donner la possibilité d'une gestion intégrée de bassins versants et de sols de *tanety*, souvent frappés par l'érosion hydrique, d'améliorer la fertilité de sols de *tanety*, et d'augmenter l'efficacité en eau du sol dans la région semi-aride du sud-ouest de Madagascar (Husson & Rakotondramanana, 2006).

La présente recherche a été entreprise pour tester l'effet des systèmes en semis direct sur la conservation durable des sols en versant de collines dans la région du Vakinankaratra, sur les Hautes-Terres centrales de Madagascar.

2. Matériel et méthodes

L'expérimentation a été conduite à Andranomanelatra, près d'Antsirabe, Hautes-Terres centrales malgaches, à une altitude de 1.640 m, sous pluies naturelles. Le climat y 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 ; 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 1.400 mm.

Le sol est de type ferralsols (FAO, 1998), avec un taux d'argile souvent supérieur à 60 %, des pH inférieurs à 5, une teneur moyenne en matière organique de 3,5% 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).

2.1. Dispositif expérimental et systèmes comparés

Le dispositif a été installé en 2004, sous une ancienne jachère de dix ans, par le Cirad et le FOFIFA ; il a été occupé par des végétations graminéennes, dont *Aristida sp* et *Cynodon dactylon*. 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 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 taux d'érosion, quinze parcelles d'érosion (21 m²) ont été intégrées sur les parcelles élémentaires. Chaque parcelle d'érosion est ceinturée par des tôles légèrement enfoncées dans le sol. Le dispositif expérimental comporte plusieurs systèmes en semis direct et en labour manuel, 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 de parcelles cultivées, les doses des intrants apportés sont les mêmes : fumier (5 t.ha⁻¹.an⁻¹) ; dolomie (0,5 t.ha⁻¹.an⁻¹) ; engrais minéral N₁₁P₂₂K₁₆ (0,3 t.ha⁻¹.an⁻¹) ; urée (0,1 t.ha⁻¹.an⁻¹). Les systèmes cultivés 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*.L) associé au haricot (*Phaseolus vulgaris*.L), et en deuxième année le riz pluvial (*Oriza sp*.L) en culture pure.

Cinq traitements culturels ont été comparés : **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, les résidus de récoltes sont enfouis dans les parcelles ; **LABSCV** : parcelles labourées à l'angady en 2004, puis dès la campagne 2005-06, le SCV à couverture morte est appliqué sur ces parcelles ; **SCVm** : parcelles en semis direct avec couverture végétale permanente morte (paillage), issue de résidus de récoltes de l'année précédente ; **SCVv** : parcelles en semis direct avec couverture végétale permanente vivante à base de *Brachiaria ruziziensis* (Graminées); **Nue** : parcelle témoin maintenue nue par un labour annuel et des sarclages réguliers ; et **Jc** : parcelle témoin entièrement couverte de végétation herbacée spontanée.

2.2. Mesures et prélèvements d'échantillons

Caractéristiques des pluies : la hauteur (mm) et l'intensité maximale (mm.h⁻¹) de la pluie sont enregistrées sur la station météorologique automatique CIMEL, installée à côté du dispositif expérimental. L'intensité de la pluie correspond au pic maximal de pluies enregistré sur six minutes consécutives et ramené en mm.h⁻¹.

Ruissellement (%) et pertes en terres (t.ha⁻¹) : le ruissellement est calculé en mesurant la hauteur d'eau collectée dans les fûts. Quant aux pertes en terre, elles sont déterminées à partir des particules solides dans les fûts. Après avoir bien homogénéisé le contenu du fût, une aliquote de 1,5 L a été prélevée, filtrée sur un papier filtre d'une porosité de 0,45 µm. Le filtre a été séché à l'étuve à 105°C pendant 24 heures afin de déterminer la quantité de charge solide transportée par le ruissellement à chaque événement pluvial érosif.

Rendements des cultures (t.ha⁻¹) : ils sont déterminés 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 m²) a été effectuée, et le poids de la matière fraîche a été mesuré sur le terrain. 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 les rendements agricoles. La même méthode a été appliquée pour la détermination de rendements en riz, 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 m².

Les données ont été traitées à l'aide du logiciel XLSTAT. Elles ont été comparées entre elles par le test de Tukey au niveau 5%.

3. Résultats

3.1. Caractéristiques des pluies

La période la plus arrosée se situe généralement entre décembre et janvier. Pendant ces deux mois, le cumul de pluies peut dépasser 500 mm (515 mm en 2007-08), voire 1.000 mm (1.005 mm en 2006-07). La pluviosité annuelle a varié de 1530 mm en année humide à 1065mm en année plus sèche (2005-2008) L'intensité maximale de pluies d'un événement le plus érosif durant cette saison de pluies peut atteindre 105 à 170 mm.h⁻¹.

3.2. Le ruissellement et l'érosion

Le ruissellement varie selon le mode de gestion (Fig.1), avec une différence hautement significative entre les systèmes conventionnels de labour et semis direct. Durant la période d'expérimentation, le ruissellement annuel moyen (Fig.1a) sur les parcelles labourées et sur la parcelle nue est respectivement huit fois (8%) et quatorze fois (14%) supérieur à celui des parcelles en semis direct (1%). Le ruissellement annuel moyen est également faible sur les parcelles en jachère naturelle (2%). Les pertes en terre annuelles moyennes sur les parcelles labourées (7,6 t.ha⁻¹.an⁻¹) et la parcelle nue (22,1 t.ha⁻¹.an⁻¹) sont plus élevées que sur parcelles en semis direct (0,13 t.ha⁻¹.an⁻¹) ou en jachère herbacée (0,04 t.ha⁻¹.an⁻¹). Remarquons aussi, que les pertes en terres sur les parcelles labourées varient fortement suivant l'année, de 1,06 t.ha⁻¹.an⁻¹ (en 2006-07) à 15,28 t.ha⁻¹.an⁻¹ (en 2008-09), alors que sur les parcelles en semis direct, les pertes en terre sont négligeables (< 0,20 t.ha⁻¹.an⁻¹), quelle que soit l'année considérée.

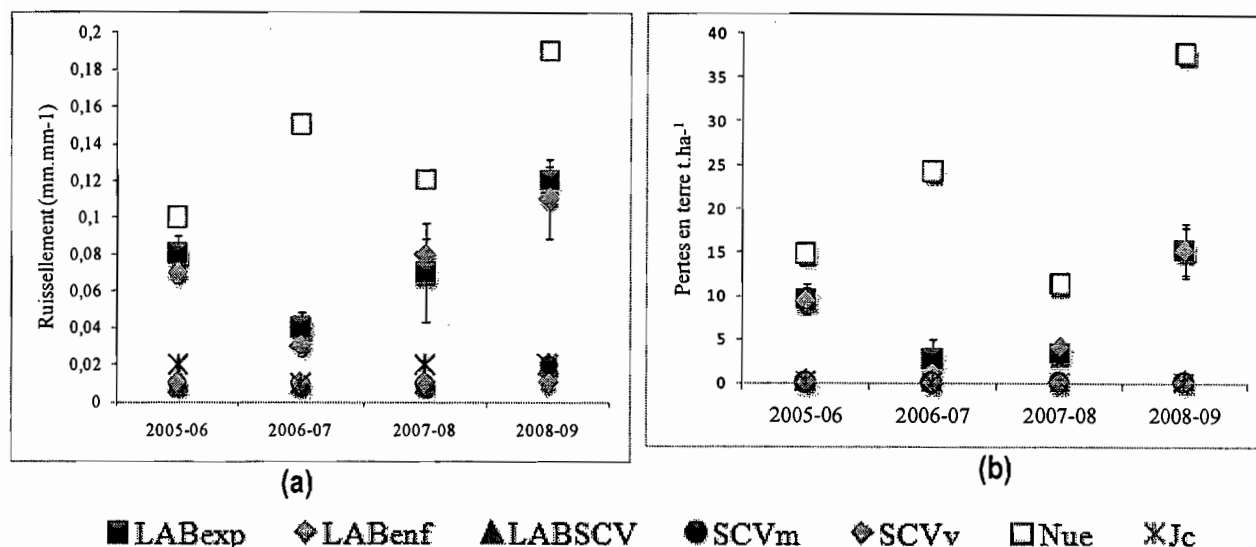


Figure 1- Evolution annuelle du taux de ruissellement (a) et des pertes en terre (b) selon les modes de gestion durant quatre années d'expérimentation.

3.3. Rendements des cultures

L'effet de semis direct sur les rendements de diverses cultures est synthétisé dans le Tableau.1 et la Figure.2. Pour le haricot, les rendements en grain sur les parcelles en SCVm sont meilleurs que ceux des autres traitements. Les rendements en grain du riz sont significativement plus élevés sur les parcelles labourées et SCVm que sur les parcelles SCVv. Pour les rendements en grain de maïs, aucune différence significative n'a été constatée entre les traitements étudiés durant l'expérimentation, sauf en 2006-07, où les parcelles LABenf sont plus productives (Tab.1). En termes d'évolution des rendements sur tous les traitements étudiés, il y a une nette diminution des rendements en grain de haricot au fil du temps. En revanche, pour le riz et le maïs, il y a une amélioration des rendements en grain, avec une augmentation beaucoup plus marquée sur les parcelles en semis direct que labourées. Pour le maïs, les différences sont de 0,20, 0,00, 0,75, 1,22 et 0,94 t.ha⁻¹ respectivement pour les traitements LABenf, LABexp, LABSCV, SCVm, et SCVv. Pour le riz, les différences sont de 0,31, 0,00, 0,63, 1,04 et 0,77 t.ha⁻¹ respectivement pour LABenf, LABexp, LABSCV, SCVm, et SCVv (Fig.2).

Tableau 1. Rendements en grain (en t.ha⁻¹ de MS) pour tous les systèmes étudiés durant quatre campagnes culturales.

Année	Culture	LABenf	LABexp	LABSCV	SCVm	SCVv
2005-06	Riz	1,26±0,47 a	1,47±0,49 a	1,06±0,46 a	0,76±0,31 ab	0,29±0,16 b
2006-07	Maïs	2,15±0,10 a	1,84±0,54 ab	1,51±0,23 b	1,70±0,21 b	1,32±0,31 b
2006-07	Haricot	0,47±0,17 b	0,49±0,20 b	0,83±0,09 a	0,86±0,06 a	Brachiaria r.
2007-08	Riz	1,57±0,18 a	1,47±0,10 a	1,69±0,43 a	1,80±0,28 a	1,06±0,32 b
2008-09	Maïs	2,35±0,71 a	1,84±0,29 a	2,26±0,50 a	2,92±1,07 a	2,26±0,72 a
2008-09	Haricot	0,42±0,10 cb	0,32±0,05 c	0,48±0,05 b	0,69±0,10a	Brachiaria r.

Moyennes ± écarts-types (n=4). 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. MS : matières sèches.

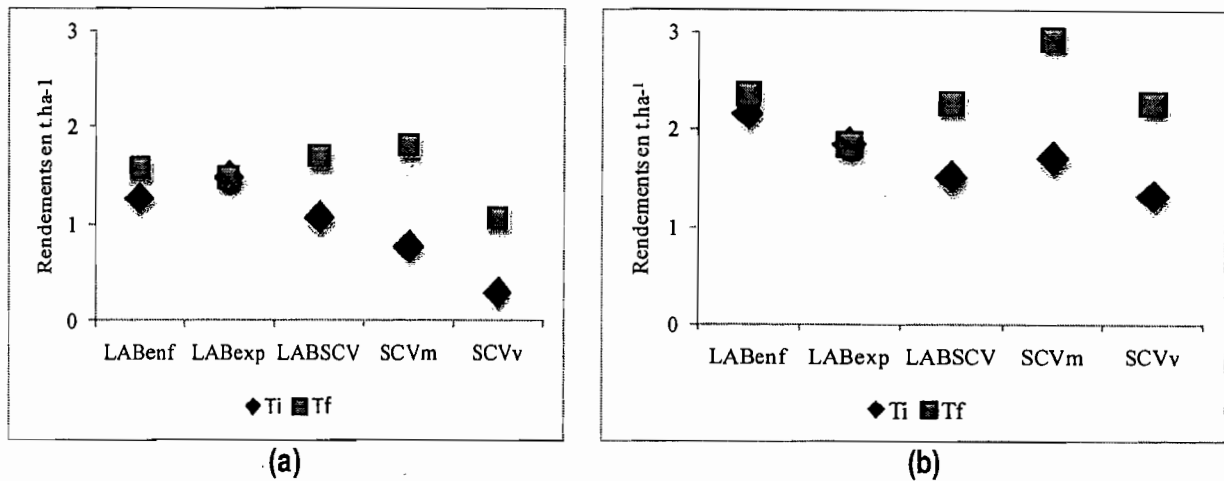


Figure 3- Différences des rendements en grain de riz pluvial (a) et en grain de maïs (b) observées au temps initial (Ti) et final (Tf) pour tous les traitements étudiés.

4. Discussion

4.1. Effets de la couverture végétale permanente sur l'érosion hydrique

Les systèmes en semis direct ont un effet positif pour contrôler l'érosion hydrique sur les Hautes-Terres centrales malgaches. Ces résultats sont en accord avec ceux publiés ailleurs par Basic *et al.* (2001) sur luvisols, cultivé en maïs en Croatie Centrale ; par Cogo *et al.* (2008), sur oxisol argileux, cultivé en maïs associé au soja au Brésil ; par Jin *et al.* (2008), sur limons fins, cultivé en blé associé à l'arachide à l'Est de la Chine et par Gomez *et al.* (2009) sur sol haploxerert typique, cultivé en olivier à l'Est de Cordoba en Espagne, par Diallo, Boli et Roose sur les Alfisols sableux du Mali et du Cameroun (2008). Dans le contexte étudié, l'effet positif des systèmes en semis direct pour contrôler l'érosion hydrique est bien visible dès la mise en place du dispositif.

Le non retournement du sol participe activement à la réduction du taux d'érosion sous systèmes en semis direct. La présence de la couverture végétale permanente intercepte l'énergie des gouttes de pluies et du ruissellement. Il en résulte que le taux du ruissellement annuel moyen et les pertes en terre annuelles moyennes y restent faibles quelles que soient les caractéristiques des pluies durant la période d'expérimentation.

À l'inverse, 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.

4.2. Effets de divers modes de gestion sur les rendements

4.2.1. Effets des systèmes en semis direct sur les rendements des cultures

À l'issue de cette étude, il a été déduit qu'au bout de quatre années d'expérimentation, les systèmes en semis direct n'améliorent pas systématiquement les rendements de cultures. En fait, par rapport aux systèmes conventionnels de labour, les systèmes en semis direct sous couverture végétale morte est favorable pour les rendements en grain de haricot. Cette différence a été observée dès la mise en place du dispositif expérimental en fin 2004 (Remamy, 2005). La présence du paillage végétal permet d'expliquer en partie cette différence. D'après Rovéra *et al.* (1999), le paillage réduit les amplitudes thermiques du sol ; en outre l'absence de labour favorise le réchauffement progressif du sol (Balesdent, 2000). Ces conditions créent un environnement favorable à la croissance des haricots. Mais, dans certains cas, le paillage est responsable de faim d'azote ; en effet, les bactéries responsables d'une partie de la décomposition du paillage subtilisent une grande quantité de l'azote du sol, ce qui entraîne une faim d'azote pour certaines plantes cultivées au début du cycle, jusqu'à ce que l'azote soit restitué au sol, mais entre temps les plantes

peuvent en souffrir. Ce qui n'était pas le cas de haricot, il appartient à la famille de légumineuses, qui a la capacité de fixer l'azote atmosphérique.

D'une manière générale, les rendements en grain du riz sont plus élevés sur les parcelles labourées et SCVm que celles de SCVv à base de *Brachiaria ruziziensis*, et pour le grain de maïs, aucune différence significative n'a été constatée entre les traitements labourés et semis direct, sauf pour l'année 2006-07, où les rendements sur les parcelles LABenf sont plus élevés. Ce résultat est en accord avec ceux rapportés par Naudin (2005), qui a observé que les rendements en maïs sont plus faibles en semis direct à base de *Brachiaria ruziziensis* qu'en labour conventionnel. Cette réduction du rendement sous 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 a créé 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 (2008-09), il y a une nette amélioration des rendements en grain de maïs sur les parcelles SCVv. On peut supposer que l'enrichissement du sol en matière organique grâce à la couverture de *Brachiaria ruziziensis* permet finalement de compenser la compétition exercée par cette plante de couverture vive sur le maïs.

On peut supposer que cette observation est valable pour les rendements en grain de riz, mais à la différence que l'effet du *Brachiaria ruziziensis* sur la réduction des rendements en grain de riz sur parcelles SCVv persiste jusqu'à la fin de l'expérimentation.

4.2.2. Effets du temps sur les rendements des cultures selon le mode de gestion

L'approche diachronique (comparaison des rendements de cultures prélevés d'une même parcelle au temps initial T_i , puis au temps final T_f) montre une diminution des rendements en grain de haricot au fil du temps. Pour le moment, nous n'avons pas encore trouvé une explication bien fondée pour l'expliquer. À l'inverse pour le riz pluvial et le maïs, une nette amélioration des rendements de cultures dans l'ensemble des systèmes étudiés a été constatée, avec une augmentation plus prononcée pour les systèmes en semis direct (Fig.3) que labourés. Si la tendance continue, il est fort possible qu'au bout des quelques années, les rendements de cultures sur les parcelles en semis direct seront meilleurs par rapport à ceux des parcelles labourées. C'est pour cette raison que certains auteurs ont pu observer une nette amélioration des rendements sous parcelles en semis direct plusieurs années après leurs mise en place. À titre indicatif, l'étude qui a été entreprise au Brésil, dans la Région Centre Nord du Mato Grosso a montré que les rendements en soja passent de 1700-2000 à 4500 kg.ha⁻¹ au bout de 15 ans de pratique des systèmes en semis direct (Séguy et Bouzinac, 2005).

En ce qui concerne la relation entre les caractéristiques de pluies et les rendements de cultures durant l'expérimentation, il n'existe pas de relation, étant donné que durant la période d'expérimentation la répartition des pluies est à peu près la même. La période la plus arrosée se situe généralement entre décembre et janvier. Bref, l'augmentation des rendements en grain de riz et de maïs est probablement attribuée à l'enrichissement du sol du dispositif expérimental.

5. Conclusion

L'expérimentation menée à Andranomanelatra confirme durant quatre années l'effet positif des systèmes en semis direct pour contrôler le ruissellement et l'érosion par rapport aux systèmes conventionnels de labour. En fait, quel que soient les caractéristiques des pluies durant l'expérimentation, le taux d'érosion sur les parcelles en semis direct reste négligeable. Les systèmes en semis direct n'induisent pas automatiquement une augmentation significative des rendements en grain. Dès le début de l'expérimentation, les systèmes en semis direct agissent positivement sur la production en grain de haricot, alors que les rendements en grain du riz ne s'améliorent qu'au bout de quelques années. Pour les rendements en maïs, il n'existe pas de différence significative entre les deux systèmes comparés sauf pour les systèmes en semis direct à couverture vive, où la production semble rester inférieure. Mais pour le riz et le maïs, il y a une augmentation des rendements en grain au fil du temps, avec une augmentation plus accentuée au niveau des parcelles en semis direct que labourée. Ces informations nous permettent de conclure que les systèmes en semis direct pourraient constituer une voie prometteuse de la conservation durable de sols sur les versants des collines, surtout pour les pays tropicaux à vocation agricole comme la Grande-Ile, où les principaux

risques climatiques (en moyenne 3 à 4 cyclones par an) et les changements climatiques (fortes précipitations, inondations, etc.) pourraient porter atteinte à la productivité des sols sur les versants des collines.

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).

6. Références bibliographiques

- Balesdent, J., Chenu, C., Balabane, M., 2000.** Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil & Tillage Research*, 53: 215 - 220.
- Basic, F., Kisic, I., Mesic, M., Nestroy, O., Butorac, A., 2004.** Tillage and crop management effects on soil erosion in central Croatia. *Soil & Tillage Research*, 78: 197-206.
- Cogo, N.P., Denardin, J.E., Bertol, I., Flavio, L.F., Volk, L., 2008.** Contrôle d'érosion du sol au Brésil par la technique de semis direct : points importants à considérer. Terre malgache, Macarthur, the John D. and Catherine T. MacArthur Foundation- Université d'Antananarivo, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques 26 : 91-94.
- Diallo D., Boli Z., Roose E., 2008.** Influence of no-tillage on soil conservation, carbon sequestration and yield of intensive rotation maize-cotton: research on sandy Alfisols of Mali and Cameroon. In "No till farming systems" T Goddard, M. Zoebisch, Y Gan, W.Ellis, A Watson, S. Sombatpanit, eds, WASWC, special publ. 3, : 383-392.
- Douzet, J.M., Scopel, B., Muller, B., Rakotoarisoa, J., Albrecht, A., Razafindramanana, N.C., 2010.** Effets des systèmes de cultures en semis direct avec couverture végétale sur le ruissellement et l'érosion des cultures pluviales des Hautes-terres de Madagascar. *Étude et Gestion des Sols*, 17 : 131-142.
- FAO, 1998.** ISRIC, ISSS World Reference Base for Soil Resources. World Soil Resources Report N°84, FAO, Rome.
- Gómez, J.A., Sobrinho, T.O., Giráldez, J.V., Fereres, E., 2009.** Soil management effects on runoff, erosion and soil properties in an olive grove of Southern Spain. *Soil & Tillage Research*, 102: 5–13.
- 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. 67 pp.
- Husson O., Charpentier H., Razanamparany C., Moussa N., Michellon R., Naudin K., Razafintsalama H., Rakotoarivo C., Rakotondramanana., Séguy L., 2008.** Fiches techniques plantes de couverture : Graminées pérennes : *Brachiaria spp.* 20 pp. Document obtenu sur le site Cirad du réseau <http://agroecologie.cirad.fr>.
- Jin, K., Cornelis, W.M., Gabriels, D., Baert, M., Wu, H.J., Schiettecatte, W., Cai, D.X., De Neve, S., Jin, J.Y., Hartmann, R., Hofman, G., 2009.** Residue cover and rainfall intensity effects on runoff soil organic carbon losses. *Catena* 78: 81-86.
- Naudin K., Balarabe O., Aboubakary., 2005.** Système de culture sous couverture végétale : Projet ESA Nord Cameroun, Résultats campagne 2004, I. Synthèse. 65 pp.
- PCS., 1997.** Projet de conservation des sols « 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, 501 pp.
- Rabeharisoa Lilia., 2004.** Gestion de la fertilité et de la fertilisation phosphatée des sols ferrallitiques des Hautes-terres de Madagascar. Thèse de Doctorat d'État ès-Sciences Naturelles-Université d'Antananarivo-Faculté des Sciences - Département de Biologie et Ecologie végétales, 196 pp.
- 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. *Étude et Gestion des Sols* 13: 113-127.
- Remamy, R., 2005.** Quantification du ruissellement 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 pp.
- Rovéra, G., Robert Y., Coubat, M., Nedjaï, R., 1999.** Érosion et stades biorhexistatiques dans les ravines du Saignon (Alpes de Provence) ; essai de modélisation statistique des vitesses d'érosion sur marnes. *Étud. Géogr. Phys.* 28: 109-115.
- Séguy L., Bouzinac S., 1996.** Le soja au Brésil: production et système de culture. CIRAD-CA -Document N°2: 42 pp.

**Restauration de la productivité
des sols tropicaux et méditerranéens
Contribution à l'agroécologie**

Version préliminaire



Eric ROOSE
Editeur scientifique

IRD Editions
INSTITUT DE RECHERCHE POUR LE DEVELOPPEMENT
MONTPELLIER, JUILLET 2015