

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

Norosoa RAZAFINDRAMANANA RAKOTONIAINA

Jean-Marie DOUZET

Bernard BARTHÈS

Lilia RABEHARISOA

Alain ALBRECHT

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 paillages, 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 des bassins versants et de sols de *tanety*, souvent frappés par l'érosion hydrique, d'améliorer la fertilité des sols de *tanety*, et d'augmenter l'efficacité en eau du sol dans la région semi-aride du sud-ouest de Madagascar (HUSSON et 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.

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 macroagrégats (> 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 et systèmes comparés

Le dispositif a été installé en 2004, sur 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 des parcelles cultivées, les doses des intrants apportés sont les mêmes : fumier ($5 \text{ t.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$) ; dolomie ($0,5 \text{ t.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$) ; engrais minéral $\text{N}_{11}\text{P}_{22}\text{K}_{16}$ ($0,3 \text{ t.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$) ; urée ($0,1 \text{ t.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$). 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 culturaux 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 2005-2006, 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 **Je** : parcelle témoin entièrement couverte de végétation herbacée spontanée.

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 terre (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 $0,45 \mu\text{m}$. Le filtre a été séché à l'étuve à $105 \text{ }^\circ\text{C}$ 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 m^2) 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 %.

Résultats

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 2007-2008), voire 1,000 mm (1,005 mm en 2006-2007). La pluviosité annuelle a varié de 1 530 mm en année humide à 1 065 mm 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.

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 (fig. 1b) 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 terre sur les parcelles labourées varient fortement suivant l'année, de 1,06 t.ha⁻¹.an⁻¹ (en 2006-2007) à 15,28 t.ha⁻¹.an⁻¹ (en 2008-2009), 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.

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 de riz sont significativement plus élevés sur les parcelles labourées

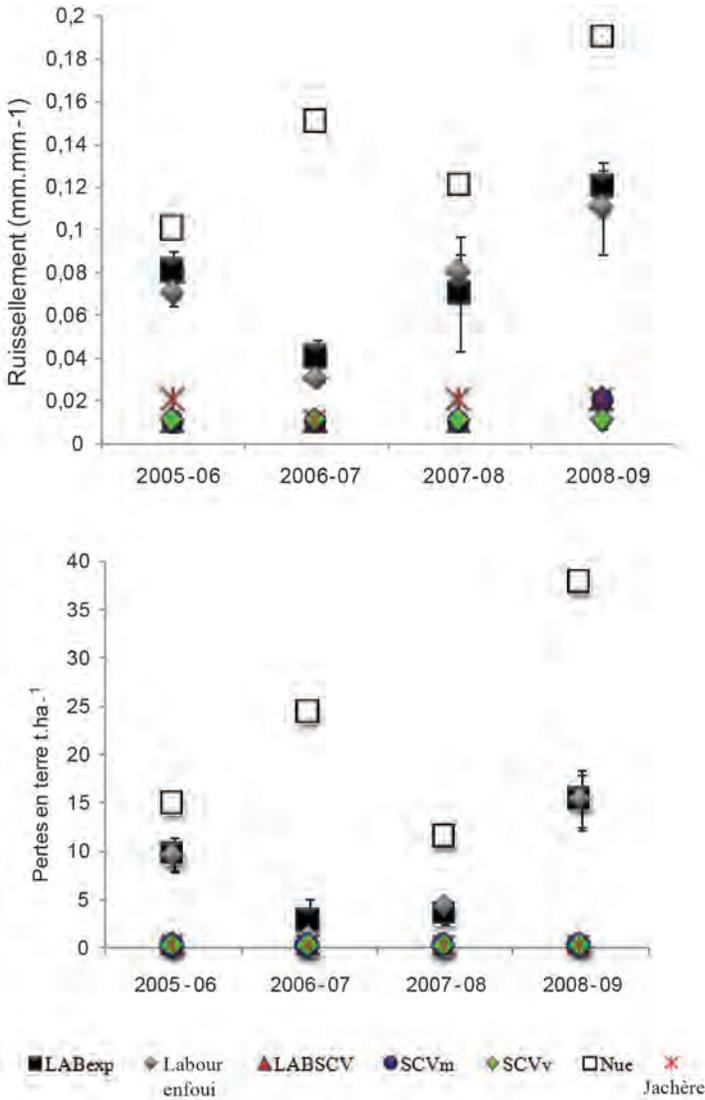


Figure 1
Évolution annuelle du taux de ruissellement (a) et des pertes en terre (b) selon les modes de gestion durant quatre années d'expérimentation.

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 2006-2007, où les parcelles LABenf sont plus productives (tabl.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. 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 de MS) pour tous les systèmes étudiés durant quatre campagnes culturales.

Année	Culture	LABenf	LABexp	LABSCV	SCVm	SCVv
2005-2006	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
2006-2007	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
2006-2007	Haricot	0,47 ± 0,17 b	0,49 ± 0,20 b	0,83 ± 0,09 a	0,86 ± 0,06 a	<i>Brachiaria r.</i>
2007-2008	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
2008-2009	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
2008-2009	Haricot	0,42 ± 0,10 cb	0,32 ± 0,05 c	0,48 ± 0,05 b	0,69 ± 0,10a	<i>Brachiaria r.</i>

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.

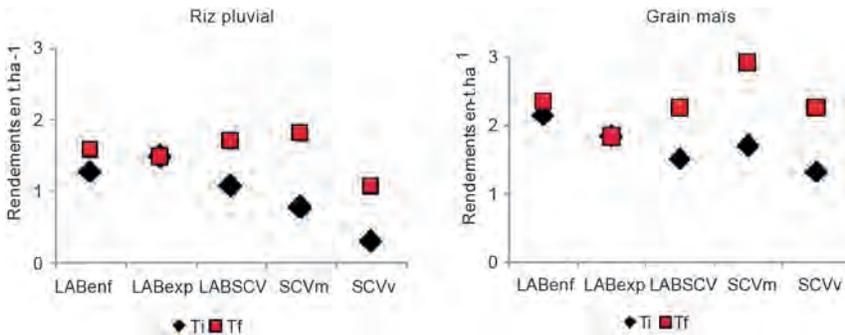


Figure 2
Différences des rendements en grain de riz pluvial (a) et en grain de maïs (b) observées au temps initial (Ti) et final (Tf) pour tous les traitements étudiés.

Discussion

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.* (2004) sur luvisols, cultivés en maïs en

Croatie centrale ; par COGO *et al.* (2008), sur oxisols argileux, cultivés en maïs associé au soja au Brésil ; par JIN *et al.* (2009), sur limons fins, cultivés en blé associé à l'arachide à l'est de la Chine et par GÓMEZ *et al.* (2009) sur sol haploxerert typique, cultivé en olivier à l'est de Cordoba en Espagne, par DIALLO *et al.* 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.

Effets de divers modes de gestion sur les rendements

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 des cultures. En fait, par rapport aux systèmes conventionnels de labour, les systèmes en semis direct sous couverture végétale morte sont favorables aux rendements en grain de haricot. Cette différence a été observée dès la mise en place du dispositif expérimental 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 *et al.* 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 n'était pas le cas du haricot, il appartient à la famille des 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 2006-2007, où les rendements sur les parcelles LABenf sont plus élevés. Ce résultat est en accord

avec ceux rapportés par NAUDIN *et al.* (2005), qui ont 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 (2008-2009), 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.

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

L'approche diachronique (comparaison des rendements de cultures prélevées 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 des cultures dans l'ensemble des systèmes étudiés a été constatée, avec une augmentation plus prononcée pour les systèmes en semis direct (fig. 2) que labourés. Si la tendance continue, il est fort possible qu'au bout de quelques années, les rendements des 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 1 700-2 000 à 4 500 kg.ha⁻¹ au bout de 15 ans de pratique des systèmes en semis direct (SÉGUY et BOUZINAC, 1996).

En ce qui concerne la relation entre les caractéristiques de pluies et les rendements de cultures durant l'expérimentation, il n'y en a pas, 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.

Conclusions

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, quelles 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 labourées. 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-Île, 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.

Bibliographie

- 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, École supérieure des sciences agronomiques, 26 : 91-94.
- DIALLO D., BOLI Z., ROOSE É., 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 Goddard T., Zoebisch M., Gan Y., Ellis W., Watson A., Sombatpanit S. (eds) : No till farming systems, 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*, Rome, FAO.
- 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 agroécologiques à Madagascar ». Articles et posters présentés au troisième congrès mondial d'agriculture de conservation, Nairobi, Kenya, octobre 2005. Groupement Semis Direct de Madagascar, 67 p.

HUSSON O., CHARPENTIER H., RAZANAMPARANY C., MOUSSA N., MICHELLON R., NAUDIN K., RAZAFINTSALAMA H., RAKOTOARINIVO 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>.

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 p.

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 p.

RABEHARISOA L., 2004 – Gestion de la fertilité et de la fertilisation phosphatée des sols ferrallitiques des Hautes-Terres de Madagascar. Thèse de doct. d'État ès-sciences naturelles, univ. d'Antananarivo-faculté des sciences-Département de biologie et écologie végétales, 196 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., SÉGUY 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 de l'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'École supérieure des sciences agronomiques, Département agriculture, 56 p.

ROVÉRA G., ROBERT Y., COUBAT M., NEDJAI 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 p.

Restauration de la productivité des sols tropicaux et méditerranéens

Contribution à l'agroécologie

Éditeur scientifique
Éric ROOSE

*Cet ouvrage a bénéficié du soutien
de l'Agence universitaire de la francophonie*

IRD Éditions
INSTITUT DE RECHERCHE POUR LE DÉVELOPPEMENT
Collection Synthèses

Marseille, 2017

Préparation éditoriale

Yolande Cavallazzi

Sylvie Hart

Mise en page

Desk (53)

Réfection des illustrations

Michelle Saint-Léger

Coordination, fabrication

Catherine Plasse

Sylvie Hart

Maquette de couverture

Michelle Saint-Léger

Maquette intérieure

Pierre Lopez

Photo de couverture

© IRD/É. Roose – Collines cultivées autour du lac Kivu (Rwanda).

La loi du 1^{er} juillet 1992 (code de la propriété intellectuelle, première partie) n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article L. 122-5, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans le but d'exemple ou d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite » (alinéa 1^{er} de l'article L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon passible des peines prévues au titre III de la loi précitée.

© **IRD, 2017**

ISBN : 978-2-7099-2277-7