

Effet des systèmes en semis direct sous couverture végétale sur le stock du carbone et l'agrégation d'un sol ferrallitique argileux des Hautes Terres malgaches. (Andranomanelatra, Madagascar)

TANTELY M. RAZAFIMBELO, CHRISTIAN FELLER,
ALAIN ALBRECHT

IRD / LRI, service de la radioagronomie
B. P. 3383, Route d'Andraisoro, 101 Antananarivo, Madagascar
Courriel : tantely.razafimbelo@ird.mg

1. Introduction

Stocker du carbone (C) dans le sol représente à la fois des enjeux agronomiques et environnementaux. En effet, augmenter le stock de C organique du sol permet d'améliorer ses propriétés physicochimiques, et donc d'améliorer la productivité végétale. Par ailleurs, stocker du C d'origine atmosphérique dans le sol, via les restitutions végétales, répond aussi à une problématique environnementale : la lutte contre l'effet de serre. On sait que la contribution de l'agriculture et du changement d'usage des terres aux émissions de CO₂ est loin d'être négligeable avec 34 % des émissions (IPCC, 2001) et les régions intertropicales participent pour 50 % de ces dernières. Aussi, une gestion raisonnée des agroécosystèmes doit viser à réduire les émissions des gaz à effet de serre et/ou à séquestrer du carbone dans le système sol-plante. 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 intéressantes tant pour les milieux tempérés (Balesdent *et al.*, 1998) que tropicaux (Bayer *et al.*, 2000 ; Six *et al.*, 2002). Ces systèmes se caractérisent par : (i) le non travail du sol, (ii) l'utilisation d'une couverture végétale sous forme de mulch (couverture morte) ou de couverture végétale vivante, et (iii) le semis à travers la couverture (Raunet *et al.*, 1998).

Ces systèmes pourraient conduire à un stockage de C dans le sol grâce à la quantité importante de résidus au sol d'une part, et à la limitation de la perte de carbone par minéralisation dû au non labour, d'autre part. Toutefois, le stockage de C dans le sol ne devient intéressant que si le C stocké est relativement stabilisé. On parle alors de « protection du C » dans le sol vis-à-vis de la minéralisation. Cette protection dépend de trois *processus* : la protection physicochimique due à l'association de la matière organique avec les colloïdes minéraux du sol ; la protection biochimique liée à la composition chimique de la matière organique stockée ; et la

protection physique liée à sa localisation à l'intérieur ou à l'extérieur des agrégats stables. Pour cette dernière, les dynamiques de C et de l'agrégation étant corrélées positivement (Chenu *et al.*, 1998 ; Barthès *et al.*, 2000), un stockage élevé de C sous ces systèmes SCV pourraient induire une amélioration de la stabilité des agrégats du sol, et par conséquent à une protection physique de C dans le sol.

L'objectif de ce travail est d'étudier, pour un sol ferrallitique argileux des Hautes Terres malgaches, en référence à la pratique traditionnelle de labour, (i) l'effet des systèmes en semis direct avec couverture végétale ou SCV sur le stock de carbone organique du sol et la stabilité des agrégats du sol, (ii) de localiser le carbone stocké et de (iii) déterminer son niveau de protection vis-à-vis de la minéralisation microbienne.

2. Milieu et méthodes

L'étude est effectuée à Andranomanelatra (17° 47' S ; 47° 06' E), à 15 km au nord-est de la ville d'Antsirabe, à 1600 m d'altitude, sur un sol ferrallitique fortement désaturé, typique, rajeuni, humifère, sur matériaux volcanique acide (Zebrowski, Ratsimbazafy, 1979). Le sol étudié est très argileux (60 % argile) et présente quelques propriétés andiques. La température moyenne annuelle est de 16°C et la pluviométrie annuelle moyenne de 1300 mm.

Le dispositif expérimental a été mis en place par l'ONG Tafa (Tany sy Fampanandroana ou Terre et Développement), avec l'appui du CIRAD en 1992.

Deux systèmes sont étudiés, chacun étant répété 3 fois sur des parcelles élémentaires en randomisation totale :

- LB m/s : un système en labour conventionnel (labour par traction animale avec une charrue à soc sur une profondeur de 20 cm) et sans restitution des résidus de récolte, en système de rotation annuelle maïs (*Zea mays* L.) / soja (*Glycine max.* L.),
- SCV m/s : un système en SCV, sans travail du sol et avec restitution des résidus de récolte, en rotation maïs-soja ;

En avril-mai 2003, juste après la récolte, 4 prélèvements ont été effectués sur chaque parcelle élémentaire : deux sur les lignes et deux sur les interlignes de culture, à 3 profondeurs : 0-5, 5-10, 10-20 cm, à l'aide de cylindres de 250 cm³ et de 500 cm³. Les échantillons sont séchés à l'air puis tamisés à 2 mm.

Les analyses effectuées sont les suivantes :

- Les teneurs en C et N totaux sont déterminées par combustion au microanalyseur élémentaire CHN (Carlo Erba NA 2000).

- La stabilité structurale est étudiée au moyen d'un test Kemper et Rosenau (1986). C'est un test d'éclatement dans l'eau permettant d'isoler les macroagrégats stables (MA, 200-2000 µm), mésoagrégats (ME, 20-200 µm) et les microagrégats (MI, 0-20 µm).

- La protection physique de C dans les agrégats est étudiée par destruction par broyage à 50 µm et leur minéralisation en conditions standard pendant vingt-huit jours.

– La protection physicochimique est étudiée par fractionnement granulo-densimétrique de la matière organique du sol (Grandière *et al.*, soumis).

3. Principaux résultats

Teneurs et stocks de C.

Les résultats montrent des teneurs en C significativement plus élevées sous système SCV m/s par rapport au système LB m/s à 0-5 et 5-10 cm de profondeur. Au-delà de 10 cm de profondeur, les deux modes de gestion ne sont plus différents (Tableau 1). Les valeurs de stocks de C à masse équivalente indiquent un stockage annuel élevé pour le système SCV m/s étudié, environ 0,7 Mg C.ha⁻¹.an⁻¹ pour la couche de 0-20 cm et par différence avec le traitement labouré LB m/s.

Tableau 1 Teneurs en carbone (C) du sol et stocks de C exprimés à masse de sol équivalente de l'horizon 0-20 cm (M = 1411 MgC.ha⁻¹). Moyenne ± écart-type (n = 3).

	Teneurs en C (mgC.g ⁻¹ sol)			Stocks de C (MgC.ha ⁻¹)
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	Equiv. 0-20 cm
LB m/s	34,0 ± 5,1 a	35,2 ± 7,0 a	32,0 ± 7,0 ab	47,4 ± 8,2 a
SCV m/s	50,2 ± 6,0 b	40,9 ± 6,5 ab	30,8 ± 4,1 a	55,0 ± 4,7 b
Stockage par SCV	16,2	5,7	1,2	7,6

Les valeurs suivies par une lettre minuscule différente d'un traitement à l'autre, pour une même profondeur, sont différentes significativement

Les valeurs suivies par une lettre minuscule différente d'un traitement à l'autre, pour une même profondeur, sont différentes significativement ($p < 0,05$, $n=3$).

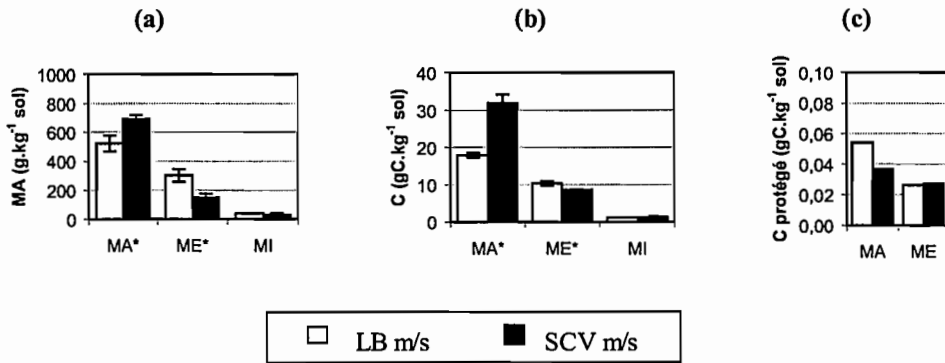
Stabilité des agrégats et localisation et protection de C dans les classes d'agrégats.

Elle est effectuée sur la couche de 0-5 cm. La teneur en macroagrégats stables (MA) varie de 522 à 691 g.kg⁻¹ sol, ce qui indique une bonne stabilité structurale du sol étudié. Cette teneur est significativement ($p > 0,05$) plus élevée, de 16 à 33 %, sous SCV m/s par rapport à LB m/s, à 0-5 cm (figure 2a).

Les MA et ME constituent la majorité du C du sol. Le C stocké dans le sol est localisé essentiellement dans les MA, avec des différences significatives entre SCV m/s et LB m/s (figure 2b). Ces MA contribuent à plus de 80 % à la différence de teneur en C entre SCV m/s et LB m/s.

Toutefois, il n'y a pas de différence significative entre le C minéralisé par les agrégats (MA et ME) non broyés (matière organique protégée) et les agrégats broyés (matière organique déprotégée), entraînant une quantité de C protégé physiquement très faible de l'ordre de 0,05 gC.kg⁻¹ sol (figure 2c).

Figure 2. Teneurs en macroagrégats stables (MA), mésoagrégats (ME) et microagrégats (MI) du sol (a) ; localisation du C (b) et C protégé dans les différentes classes d'agrégats.



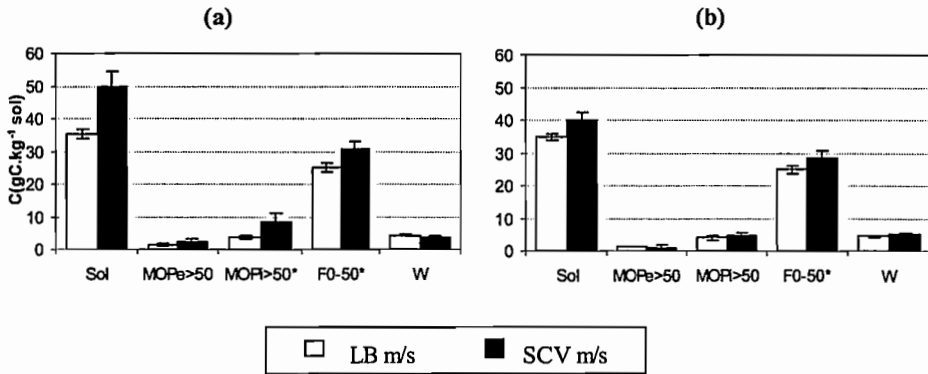
MA : macroagrégats stables (200-2000 μm) ; ME : mésoagrégats (20-200 μm) ; MI microagrégats (0-20 μm).
 * indique des différences significatives ($p < 0,05$) entre les deux traitements suivant le Test de Student ($n = 3$).

Localisation de C dans les fractions granulo-densimétriques du sol

Elle est effectuée sur les couches 0-5 et 5-10 cm. Le C du sol est essentiellement associé aux fractions fines inférieures à 50 μm . À 0-5 cm, les contenus en C des matières organiques (MO) particulières internes aux agrégats stables (MOPi > 50) de taille supérieure à 50 μm et celui des fractions fines inférieures à 50 μm (F 0-50) sont significativement plus élevés sous SCV m/s que LB m/s. À 5-10 cm, les différences concernent uniquement les fractions F 0-50 (figures 3a et 3b) avec des contenus significativement plus élevés sous SCV m/s que sous LB m/s. Les contenus en C des MO particulières externes aux agrégats (MOPe > 50) et des fractions solubles (W) ne sont pas significativement différents entre les deux modes de gestion.

Par rapport au labour conventionnel LB m/s, 30 à 40 % du C stocké sous SCV m/s sont associés aux MOPi > 50 μm et 40 à 60 % aux fractions fines F 0-50. À 5-10 cm, 60 à 90 % du C stocké sont associés aux fractions F 0-50.

Figure 3. Localisation de C dans les différentes fractions granulo-densimétriques du sol pour les couches de 0-5 cm (a) et 5-10 cm (b).



MOPe : matière organique particulaire externe aux agrégats (200-2000 μm) ; MOPi : matière organique particulaire interne aux agrégats (20-200 μm) ; F 0-50 : matière organique associée à la fraction fine 0-50 μm ; W : matière organique solubilisée lors du fractionnement.

* indique des différences significatives ($n < 0.05$) entre les deux traitements suivant le Test de Student ($n = 3$).

4. Discussion

Par rapport au sol labouré de manière conventionnel (LB) depuis onze ans, ne recevant pas de résidus de récolte, et considéré à l'équilibre, le sol sous systèmes en semis direct avec couverture végétale (SCV), recevant une quantité importante de résidus, présente des teneurs et stocks de C plus élevés. Ce stockage, d'environ 0,7 MgC.ha⁻¹.an⁻¹, relativement élevé, semble être en accord avec les données de la littérature qui donnent des valeurs de stockage annuel variant de 0,35 à 0,71 MgC.ha⁻¹.an⁻¹ pour des systèmes en semis direct, mais avec restitution des résidus sur les traitements labourés (Bayer *et al.*, 2000 ; Six *et al.*, 2002). Dans cette étude le stockage mesuré concerne à la fois l'effet du non-labour, combiné avec l'effet de la restitution des résidus. Le stockage annuel élevé sous systèmes SCV mesuré ici est alors attribué principalement à l'importante quantité de biomasse restituée par ces systèmes par rapport au traitement labouré. Toutefois, il pourrait aussi être attribuée à une diminution des pertes par érosion du C sous ces systèmes, grâce à la couverture permanente du sol (Razafimbelo, 2005).

Le sol étudié possède une stabilité structurale naturelle élevée avec un taux de macroagrégats stables (MA) supérieure à 50 %. Cette stabilité est encore améliorée sous systèmes SCV par rapport au système labouré. L'augmentation du stock de C sous SCV, dans cette étude, s'accompagne donc d'une augmentation des teneurs en MA. Environ 80 % du C atmosphérique stocké dans le sol sous système SCV sont localisés dans ces MA. Ce qui pourrait laisser supposer l'existence d'une protection physique du C stocké contre la minéralisation microbienne par son emprisonnement dans les MA stables du sol. Cette hypothèse a été vérifiée plusieurs fois dans la littérature (Beare *et al.*, 1994 ; Chevallier *et al.*, 2004). Toutefois, dans cette étude, la déprotection par broyage de ce C localisé dans ces MA stables ne conduit pas à une minéralisation du C contenu dans ces agrégats, ce qui

indique, soit l'inexistence d'une protection physique de C pour le sol étudié, soit une protection physique, si elle existe, localisée au niveau des agrégats de tailles inférieures à 50 μm (Sollins *et al.*, 1996).

Par rapport au labour, les systèmes SCV, permettent principalement une augmentation des contenus en C de la fraction fine du sol (F0-50) pour les couches 0-5 et 5-10 cm (40 à 90 % du C stocké y est localisé) et secondairement de la MO particulaire interne aux agrégats (MOPi >50) pour la couche de 0-5 cm. Cet enrichissement en C de la fraction fine du sol est souvent observé dans des systèmes à mulch (Razafimbelo *et al.*, 2003). On pourrait l'attribuer au rôle important joué par la faune du sol pour enfouir et transformer les débris végétaux grossiers (> 50 μm) en fraction fines (< 50 μm) et favoriser la formation de macroagrégats stables. Cette activité de la faune du sol est généralement très importante sous mulch (Mele et Carter, 1999). Notons que la matière organique associée à cette fraction est adsorbée sur la fraction minérale qui le protège physico-chimiquement contre la minéralisation microbienne (Feller *et al.*, 1991), protection amplifiée par le caractère argileux et les propriétés andiques du sol étudié, qui lui confèrent un fort pouvoir d'adsorption.

Les systèmes SCV permettent aussi une augmentation des MO particulaires emprisonnés dans des agrégats > 50 μm (MOPi > 50). Toutefois, ces MOPi n'ont pas été minéralisées par la biomasse microbienne lors de leur exposition à la minéralisation par la destruction de ces agrégats > 50 μm du sol. Elles sont en partie protégées biochimiquement contre la minéralisation.

5. Conclusion

En conclusion, pour le sol argileux considéré ici, les systèmes SCV testés s'avèrent très efficaces pour stocker du C dans le sol. Ce stockage est attribué à la quantité importante de C restitué au sol. Ce C stocké est relativement stabilisé puisqu'il est protégé, au moins physico-chimiquement, contre la minéralisation microbienne. D'autre part, ces systèmes permettent d'améliorer la stabilité structurale du sol et avec l'utilisation de la couverture végétale, ils permettent de protéger le sol efficacement contre l'érosion.

6. Remerciements

Les auteurs tiennent à adresser leurs sincères remerciements à tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail, notamment l'AUF, l'IRD et le FFEM pour avoir financé cette étude ; l'ONG Tafa, pour avoir permis de réaliser ces travaux sur leur dispositif ; l'URP SCRID (Antsirabe), le laboratoire MOST IRD-CIRAD (Montpellier) et le laboratoire des radioisotopes (Antananarivo) pour avoir permis de réaliser la préparation des échantillons et les analyses de laboratoire.

Références bibliographiques

BALESDENT, J., BESNARD, E., ARROUAYS, D., CHENU, C., 1998, « The dynamics of carbon in particle-size fractions of soil in a forest-cultivation sequence », *Plant and Soil*, 201, 49-57

4. Techniques de GCES

- BARTHÈS, B., AZONTONDÉ, A., BOLI, B. Z., PRAT, C., ROOSE, É., 2000, « Field-scale run-off and erosion in relation to topsoil aggregate stability in three tropical regions (Benin, Cameroon, Mexico) », *European Journal of Soil Science*, 51, 485-495
- BAYER, C., MIELNICZUK, J., AMADO, T. J. C., MARTIN-NETO, L., FERNANDES, S. V., 2000, « Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil », *Soil and Tillage Research*, 54, 101-109
- BEARE, M. H., CABRERA, M. L., HENDRIX, P. F., COLEMAN, D. C., 1994, « Aggregate-protected and unprotected organic matter pools in conventional- and no-tillage soils », *Soil Science Society of America Journal*, 58, 787-795
- CHENU, C., PUGET, P., BALESSENT, J., 1998, Clay-organic matter associations in soils : microstructure and contribution to soil physical stability, 16th World Congress of Soil Science, Montpellier, France
- CHEVALLIER, T., BLANCHART, E., ALBRECHT, A., FELLER, C., 2004, « The physical protection of soil organic carbon in aggregates : a mechanism of carbon storage in a Vertisol under pasture and market gardening (Martinique, West Indies) », *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 103, 375-387
- FELLER, C., FRANÇOIS, C., VILLEMIN, G., PORTAL, J., TOUTAIN, F., MOREL, J., 1991, « Nature des matières organiques associées aux fractions argileuses d'un sol ferrallitique », *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 12, sér. 2, 1491-1497
- GRANDIÈRE, I., RAZAFIMBELO, T., BARTHÈS, B., BLANCHART, E., LOURI, J., FERRER, H., CHENU, C., WOLF, N., ALBRECHT, A., FELLER, C., « Effet de différents systèmes en semis direct avec couverture végétale (SCV) sur la distribution granulo-densimétrique de la matière organique d'un sol argileux des Hautes Terres de Madagascar », soumis à *Étude et Gestion des sols*
- HOUGHTON, J. T., DING, V., GRIGGS, D. J., NOGUER, M., VAN DER LINDEN, P., X. D., MASKELL, K. (édit.), IPCC, 2001, *Climate Change 2001: The Scientific Basis, Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge.
- KEMPER, W. D., ROSENAU, R. C., 1986, « Aggregate stability and size distribution », in *Methods of soil analysis, part 1, Physical and mineralogical methods - Agronomy monographs*. Klute A. (édit.), Madison, WI
- MELE, P. M., CARTER, M. R., 1999, « Impact of crop management factors in conservation tillage farming on earthworm density, age structure and species abundance in south-eastern Australia », *Soil and Tillage Research*, 50, 1-10
- RAUNET, M., SEGUY, L., FOVETS RABOTS, C., 1998, « Semis direct sur couverture végétale permanente du sol : de la technique au concept », in *Gestion agrobiologique des sols et des systèmes de culture*, Rasolo, F., Raunet, M., (édit.), Antsirabe, Madagascar
- RAZAFIMBELO, T., 2005, *Stockage et protection de carbone dans un sol ferrallitique sous systèmes en semis direct avec couverture végétale des Hautes Terres malgaches*, thèse, École nationale supérieure agronomique, Montpellier, Université de Montpellier II
- RAZAFIMBELO, T., BARTHÈS, B., DE LUCA, E. F., LARRÉ-LARROUY, M. C., LAURENT, J.-Y., CERRI, C. C., FELLER, C., 2003, « Effet du paillis des résidus de canne à sucre sur la séquestration de carbone dans un sol ferrallitique argileux du Bresil », *Étude et Gestion des Sols*, 10, 191-200
- SIX, J., FELLER, C., DENEFF, K., OGLE, S. M., SÀ J. C. D. M., ALBRECHT, A., 2002, « Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils : effects of no-tillage », *Agronomie*, 22, 755-775
- SOLLINS, P., HOMANN, P., CALDWELL, B. A., 1996, « Stabilization and destabilization of soil organic matter : mechanisms and controls », *Geoderma*, 74, 65-105
- ZEBROWSKI, C., RATSIMBAZAFY, C., 1979, Carte pédologique de Madagascar au 1/100 000, feuille Antsirabe, Paris, Office de la recherche scientifique et technique Outre-Mer (ORSTOM)

Actes des Journées scientifiques
du réseau de chercheurs
Érosion et GCES

**ÉROSION ET
GESTION
CONSERVATOIRE DE
L'EAU ET DE LA
FERTILITÉ DES SOLS**

Sous la direction de :

**Simone Ratsivalaka
Georges Serpantié
Georges De Noni
Éric Roose**



Éditions scientifiques GB

as

actualité scientifique



Agence universitaire de la Francophonie



Université d'Antananarivo



Agence universitaire de la Francophonie

ÉROSION ET GESTION CONSERVATOIRE DE L' EAU ET DE LA FERTILITÉ DES SOLS

ACTES
DES JOURNEES SCIENTIFIQUES
DU RÉSEAU ÉROSION ET GCES DE L'AUF
ANTANANARIVO (MADAGASCAR) , DU 25 AU 27 OCTOBRE 2005

Sous la direction de

Simone RATSIVALAKA
Georges SERPANTIÉ
Georges DE NONI
Éric ROOSE

Copyright© 2006 Contemporary Publishing International (C.P.I). Publié sous licence par les Éditions scientifiques GB et en partenariat avec l'Agence universitaire de la Francophonie (AUF)

Tous droits de traduction, de reproduction et d'adaptation réservés pour tous pays. Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit (électronique, mécanique, photocopie, enregistrement, quelque système de stockage et de récupération d'information) des pages publiées dans le présent ouvrage faite sans autorisation écrite de l'éditeur, est interdite.

Éditions scientifiques GB
41, rue Barrault
75013 Paris
France

ISBN : 2-84703-032-8

Les textes publiés dans ce volume n'engagent que la responsabilité de leurs auteurs. Pour faciliter la lecture, la mise en pages a été harmonisée, mais la spécificité de chacun, dans le système des titres, le choix de transcriptions et des abréviations, l'emploi de majuscules, a été souvent conservée.