

DE LA CULTURE ITINERANTE A LA CULTURE PERMANENTE : IMPACT SUR LE STATUT ORGANIQUE ET L'AGREGATION D'UN LIXISOL FERRIQUE A L'OUEST DU BURKINA FASO

B. OUATTARA¹ K. OUATTARA¹ F. LOMPO¹ A. YAO-KOUAME² et P. M. SEDOGO¹

¹Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles, INERA, 04 BP8645 Ouagadougou 04.
E-mail : badiori.ouattara@coraf.org

²UFR /STRM, Université de Cocody, Abidjan, 22 BP 582 Abidjan 22.

RESUME

La connaissance de la dynamique du carbone organique d'un sol (COS) cultivé est essentielle à l'évaluation de son importance dans l'agrégation du sol. C'est dans cette optique qu'une étude comparative synchronique a été conduite à Bondoukui, zone cotonnière située à l'Ouest du Burkina Faso. Des échantillons de sol issus de l'horizon de surface (0 -15 cm) ont été obtenus de 101 parcelles cultivées, sur la base d'une typologie des grands systèmes de culture (itinérante, cyclique et permanente) et d'intensité de travail du sol (labour occasionnel, bisannuel, annuel). Les résultats montrent que la mise en culture des sols sous jachère naturelle a induit une baisse annuelle du COS d'environ 357 kg C ha⁻¹ (2,2 %) durant les 10 premières années de culture. Cependant, les apports de fumier et de résidus de récolte ont permis de minimiser les pertes liées à la minéralisation induite par le labour. Les jachères naturelles, quelque soit leur âge, ont entraîné une stabilité structurale du sol plus importante que celle sous système de culture permanente. En conséquence, et contrairement à la baisse du stock organique des sols, qui semble se stabiliser au bout de 10 ans de culture, le taux d'agrégats stables à l'eau continue à baisser, sous l'effet des labours annuels.

Mots-clés : Lixisol ferrique, systèmes de culture, carbone organique, stabilité structurale, Burkina Faso.

ABSTRACT

FROM SHIFTING TO CONTINUOUS CULTIVATION : IMPACT ON SOIL ORGANIC STATUTE AND AGGREGATION OF A FERRIC LIXISOL IN WESTERN BURKINA FASO

The knowledge on organic carbon (SOC) dynamics in cropped soils is needed for evaluating soil structural degradation. A synchronic comparative study was conducted in Bondoukui, a site located in the western cotton cultivating area of Burkina Faso. Soils from 101 plots were sampled from the surface layers (0 -15 cm), based on a typology of major cropping systems (shifting, cyclic, continuous cultivation) and tillage intensity (occasional, biennial, annual ploughing) found in the area. After a long-term fallow period, land cultivation resulted in an annual SOC loss of 357 kg C ha⁻¹ (2.2 %) during the first 10 years of cultivation. Nevertheless, the ploughing-in of organic matter residues (manure, crop residues) resulted in a minimum SOC loss. Regardless of age, fallow lands induced a stronger soil structural stability than continuous cropping systems. Finally, it appeared that, contrary to SOC stock depletion, stabilized after 10 years of cultivation, water stable aggregates stability showed continuous drop under annual ploughing.

Key words : Ferric lixisol, cropping systems, organic carbon, structural stability.

INTRODUCTION

Le maintien et/ou l'amélioration durable de la fertilité des sols cultivés des savanes soudaniennes a été, traditionnellement et longtemps basée sur la pratique de la jachère (Nye et Greenland, 1965 ; Piéri, 1989 ; Ouattara et al., 2006). Cette pratique, qui consiste à laisser au «repos» une parcelle cultivée pendant une durée plus ou moins longue, est créditée de fonctions à la fois écologiques (restauration de la fertilité des sols et de la biodiversité) et de la production (lieu de chasse, de cueillette, etc.) (Ruthenberg, 1971 ; Jaiyeoba, 1988 ; Serpantié et Ouattara, 2001 ; Serpantié, 2003). La pratique de la jachère est une technique de régulation et de stabilisation des milieux de sorte à permettre, entre autres, une reconstitution du stock organique et une restructuration du sol (Aweto, 1981 ; Piéri, 1989 ; Duval et al., 1993 ; Serpantié et Ouattara, 2001 ; Barreto et al., 2009).

Depuis 1950, des mutations profondes ont affecté cette pratique culturale avec l'introduction de nouvelles techniques de production (mécanisation, cultures de rente), l'augmentation démographique (2,38 %), la présence d'une sécheresse endémique, etc. Ceci a conduit à une saturation croissante de l'espace agricole (Serpantié, 2003).

Dans ce contexte d'allongement continu des périodes de culture et de raccourcissement de la durée des jachères, voire de leur disparition des paysages agricoles, de nombreuses études entreprises ont mis en évidence les risques encourus par les systèmes de culture traditionnels sur le capital foncier et la fertilité des sols (Stoorvogel et Smaling, 1990 ; Lal, 2000 ; Serpantié, 2003). Ces études s'accordent pour reconnaître que les mesures conservatoires à développer reposent, en grande partie, sur la gestion des stocks organiques de ces sols fragiles, pauvres en argiles gonflantes (Godefroy et Jacquin, 1975 ; Piéri, 1989 ; Arrouays et al., 1994 ; Ouattara et al., 2006).

La matière organique joue un rôle clé dans la fertilité des sols cultivés. Elle contrôle l'ensemble des propriétés physiques, chimiques et biologiques. Elle favorise ainsi le recyclage, le stockage et la disponibilité des nutriments au profit des plantes et intervient comme source de nutriments et d'énergie pour les micro-organismes et la macrofaune du sol (Cheshire, 1979 ; Hu et al., 1997). En jouant son rôle de

«liant organique» dans les sols, elle contribue à l'amélioration de leur état structural (Godefroy et Jacquin, 1975 ; Oades, 1984 ; Ouattara et al., 2008). Un sol bien structuré est un sol qui serait constitué d'agrégats stables, ménageant entre eux un espace poral suffisant pour une bonne circulation de l'air et de l'eau, et minimisant les risques d'érosion hydrique (Duval et al., 1993 ; Hangen et al., 2002).

De nombreux travaux, menés en Afrique Sud Saharienne, ont montré que la mise en culture des sols, sous jachère naturelle, s'accompagne inexorablement d'un abaissement important du statut organique (Siband, 1974 ; Aweto, 1981 ; Piéri, 1989 ; Arrouays et al., 1994). Cette baisse se manifeste plus au cours des 5 à 10 premières années de culture (3 à 5 % de perte annuelle) pour ensuite s'équilibrer (Godefroy et Jacquin, 1975 ; Berger et al., 1987 ; Sédogo et al., 1994 ; Balesdent et al., 2000 ; Ouattara et al., 2006). Elle s'accompagne d'une décroissance de la stabilité structurale du sol (Baldock et al., 1987 ; Piéri, 1989 ; Barthès et al., 1996 ; Six et al., 2002, Barreto et al., 2009). Il en résulte une baisse de la capacité productive des sols cultivés.

La zone cotonnière Ouest du Burkina Faso, où la pratique de jachère subsiste encore, n'échappe pas à cette problématique générale. C'est dans ce contexte que se situe la présente étude, qui se propose d'analyser les effets cumulés des pratiques agricoles actuelles sur le statut organique et l'état structural des sols des agro systèmes cotonniers à l'Ouest du Burkina Faso. Pour ce faire, les investigations s'appuient sur les parcelles paysannes dans le terroir de Bondoukui. Celui-ci offre des situations assez contrastées en matière de paysages agricoles (cultures, jachères) et d'intensification agricole (cultures manuelle, attelée bovine, motorisée).

MATERIEL ET METHODES

SITE D'ETUDE

L'étude a été réalisée à Bondoukui (11°51' N , 3°46' W, 360 m d'altitude) dans la zone cotonnière Ouest du Burkina Faso. La pluviométrie annuelle moyenne se situe entre 900 et 1000 mm et est distribuée, de façon monomodale, entre Mai et Octobre. Les températures maxima trahissent entre 31 °C et 30 °C (Devineau et al., 1997).

L'évapotranspiration potentielle annuelle atteint, en moyenne, 1900 mm. Selon la classification FAO (2006), les sols appartiennent à l'ordre des Lixisols ferriques (texture sablo-limoneuse) et des Luvisols ferriques (texture limono argileuse à argileuse, > 15 % d'argile). Les principales caractéristiques physico-chimiques sont présentées dans le tableau 1. Les principaux

types de formations végétales observées correspondent à la végétation liée au réseau hydrographique (forêt galerie) et aux formations savaniques (savanes arbustives, arborées ou herbeuses, forêts claires). Toutefois, les espaces cultivés sont dominés par d'importants parcs à Karité (*Vitellaria paradoxa*) et à néré (*Parkia biglobosa*) (Devineau *et al.*, 1997).

Tableau 1 : Caractéristiques physico-chimiques des sols sous jachère naturelle.

Soil physico-chemical characteristics under natural fallow conditions.

Caractéristiques	Valeurs (N = 33)
Argiles + Limons (%)	26,6 ± 11,5
Sables totaux (%)	54,4 ± 14,1
Densité apparente (kg/dm ³)	1,48 ± 0,08
Somme des bases (cmol (+)/kg-Sol)	3,3 ± 1,7
CEC (cmol (+)/kg-Sol)	3,7 ± 2,2
Carbone organique (g-C/kg-Sol)	6,0 ± 1,6
Azote (g-N/kg-Sol)	0,4 ± 0,1
pH _{eau}	6,2 ± 0,3

CEC (Capacité d'échange cationique) ; N (Nombre de parcelles)

(Valeurs affectées des écart-types).

METHODE D'ECHANTILLONNAGE

L'échantillonnage du sol a été effectué à l'échelle de la parcelle. Celle-ci se définit comme étant un espace de physionomie et d'histoire culturale homogènes. Le choix des parcelles a été fait, à partir d'une typologie des exploitations agricoles, en fonction de l'intensité culturale sur ces parcelles. Trois grands systèmes de culture (GSC) ont été ainsi identifiés :

- le système de culture itinérante, caractérisé par 5 à 10 ans de culture suivi de 30 ans de jachères. Ces vieilles jachères sont localement appelées *diuré* ;
- le système de culture à jachère ou de culture cyclique, caractérisé par 5 à 10 ans de culture suivi de 5 à 20 ans de jachère ;
- le système de culture permanente, avec plus de 20 ans de cultures continues.

Ces GSC ont été recoupés avec l'âge des phases culture-jachère, le régime du travail du

sol et la texture (Tableau 2). Certaines parcelles du système de culture permanente ont reçu des apports de matières organiques sous forme de déjections animales ou de compost. Les doses ont varié entre 2 et 5 t.ha⁻¹, à des fréquences d'application également variables (2 à 3 ans).

Les labours ont été réalisés, en culture attelée ou motorisée, à des profondeurs de plus 15 cm.

Au total, les sols de 101 parcelles dont, 33 sous jachères naturelles, ont été échantillonnés pendant la saison sèche. Les prélèvements ont été réalisés à la faveur des mesures de densité apparente sèche du sol, à l'aide du densitomètre à membrane, sur une profondeur de 15 cm, et à raison de 3 répétitions par parcelle. L'emplacement du point de prélèvement a été déterminé à partir du jet d'un cerceau. Le volume de sol prélevé au densitomètre à membrane est l'ordre du décimètre cube. Les trois prélèvements ont été ensuite mélangés pour constituer un échantillon composite.

Tableau 2 : Répartition des parcelles entre les différents systèmes de culture.*Plots distribution between the different cropping systems.*

N. parcelles								
Système Itinérant		Système à jachère			Système permanent			
J30	C10	J10	J20	C10	Lab/2an	Lab/an	Fumier	
11	8	9	13	23	16	15	6	

J30 (Jachère de 30 à 40 ans) ; J10 (Jachère de 1 à 10 ans) ; J20 (Jachère de 11 à 20 ans) ; C10 (Culture de 1 à 10 ans) ; Lab/2an (Labour bisannuel) ; Lab/an (labour annuel) ; N. parcelles (Nombre de parcelles).

METHODES D'ANALYSE

La teneur en carbone organique a été dosée selon la méthode de Walkley et Black et adaptée pour les sols du Burkina par Gnankambary *et al.* (1999). Le carbone organique a été minéralisé en milieu acide (H_2SO_4) par oxydation au bichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$), dont, l'excès est titré par l'ammonium fer II sulfate (sel de Mohr). Les résultats ont été exprimés en $g.kg^{-1}$ de sol, en tenant compte d'un facteur de correction de 4:5, lié à la minéralisation incomplète (75 %) du carbone organique.

La stabilité structurale a été déterminée à travers la mesure du taux d'agrégats stables du sol de taille supérieure à 200 μm , après un tamisage standardisé dans l'eau, pendant une heure. C'est une technique adaptée aux sols sableux, mise au point par Bloin *et al.* (1990) et qui est en réalité, une variante de celle préconisée par Kemper et Rosenau (1986). Cinq grammes de sol séché à l'air libre et tamisé à 2 mm ont été placés dans des tubes tamis de 200 μm et immergés dans de l'eau distillée. L'appareil, muni d'un moteur électrique, imprime aux tamis des oscillations horizontales et sinusoïdales, d'une amplitude de 20 mm, avec une fréquence de 1,6 Hertz. Après une heure de tamisage, la masse de sol restant sur le tamis a été recueillie, séchée à 60 °C à l'étuve et pesée. Ensuite la matière organique a été détruite à l'eau oxygénée et le sol soumis à une désagrégation à l'hexamétaphosphate de sodium (HMP). Un tamisage à l'eau a permis enfin d'y retirer les fractions minérales grossières de taille supérieures à 200 μm . La teneur en agrégats stables à l'eau (Ag1h) a été exprimée en pourcentage du poids du sol total, à l'aide de formule :

$$Ag1h = 100 \frac{\text{Agrégats totaux} - \text{Sables Grossiers}}{\text{Prise d'essai} - \text{Sables Grossiers}}$$

Les analyses de variance ont été réalisées, à l'aide du logiciel Genstat 6® version 3.2 (2000), sur un dispositif expérimental non équilibré le (Tableau 2.)

RESULTATS

Dans les jachères naturelles, le stock de carbone organique a augmenté globalement avec l'âge, sans qu'on ne puisse, pour autant, déceler des différences significatives entre les jeunes jachères (10,2 Mg/ha) et celles d'âge intermédiaire (12,4 Mg/ha) (Figure 1). Les sols des *duiré* ont présenté les plus grands stocks de COS (19,7 Mg/ha). La mise en culture de ces derniers a entraîné une baisse du statut organique de l'ordre de 25 %. Cependant, aucune différence significative n'a été décelée entre les stocks de carbone des sols des parcelles du système de culture permanent. Mais, les plus fortes pertes ont été observées dans les parcelles annuellement labourées. Ce que les apports de fumier sont parvenus à compenser. Ils ont porté les stocks organiques du sol à des niveaux presque équivalents à ceux des jachères de 20 ans d'âge.

La mise en culture des jachères a occasionné une baisse du statut organique et du taux d'agrégats stables à l'eau des sols (Figure 1). Cependant, aucune corrélation significative n'a été observée entre ces deux variables (Figure 2). Alors que les stocks de carbone des sols a semblé se stabiliser au cours du temps, en culture permanente, les taux d'agrégats stables à l'eau par contre, a continué de baisser. Cette baisse, a été autant prononcée avec l'intensité travail du sol. Ainsi, les labours annuels ont induit des baisses d'environ 30 % de la stabilité structurale, par rapport aux labours bisannuels et de 70 % par rapport au niveau d'équilibre atteint sous les jachères des systèmes de

culture itinérante. Les apports du fumier qui ont entraîné un accroissement du statut organique, n'ont pas amélioré, de façon significative le taux d'agrégats stables à l'eau.

L'utilisation des teneurs en argile [A] comme co-variable, a montré l'existence d'une corrélation positive et significative entre celle-ci et les taux d'agrégats stables à l'eau (Ag1h) des sols sous jachères naturelles (Figure 3).

Cette figure montre que la quasi totalité des champs cultivés se situe au-dessous de la droite des jachères définie comme suit :

$$Ag1h = 0,87 [A] + 0,86, \text{ avec } R^2 = 0,72.$$

Les champs qui s'approchent de cette droite sont soit, de nouvelles défriches, soit des vieux champs cultivés sur sols rouges de piémont de cuirasse.

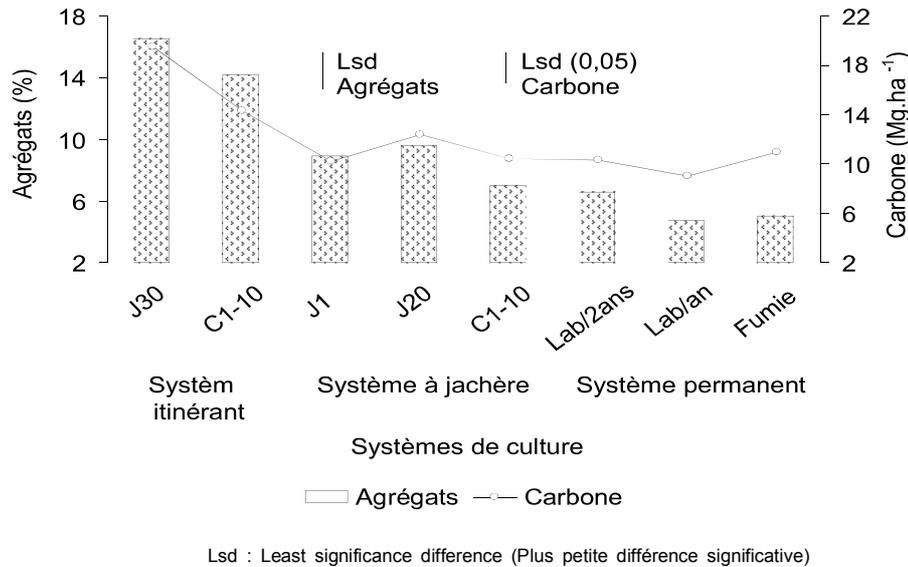


Figure 1 : Evolution globale des taux d'agrégats stables à l'eau et du stock organique des sols en fonction des systèmes de culture.

Global changes in soil water stable aggregates and in soil organic carbon stocks, as a function of cropping systems.

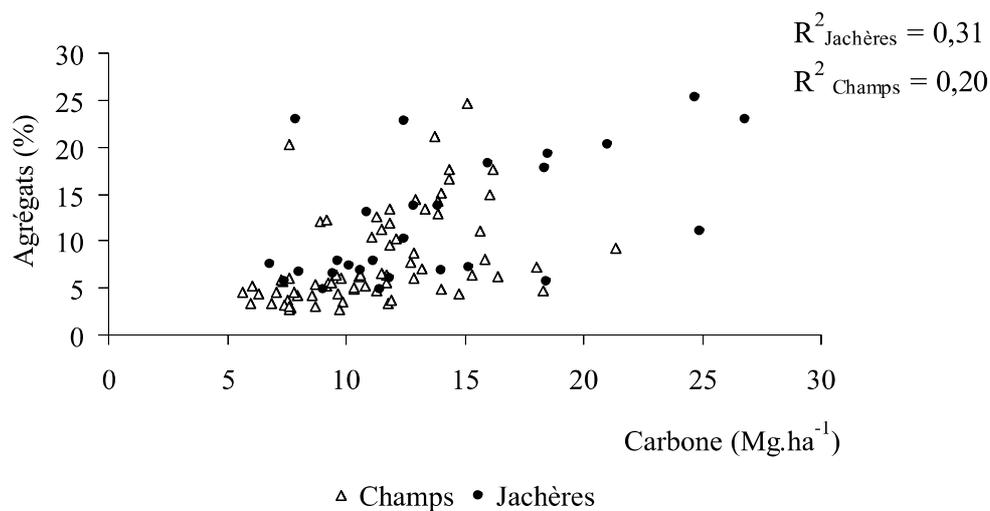


Figure 2 : Relation entre le taux d'agrégats stables à l'eau et les stocks de carbone organique du sol.

Relationship between soil water stable aggregates and soil organic carbon stocks.

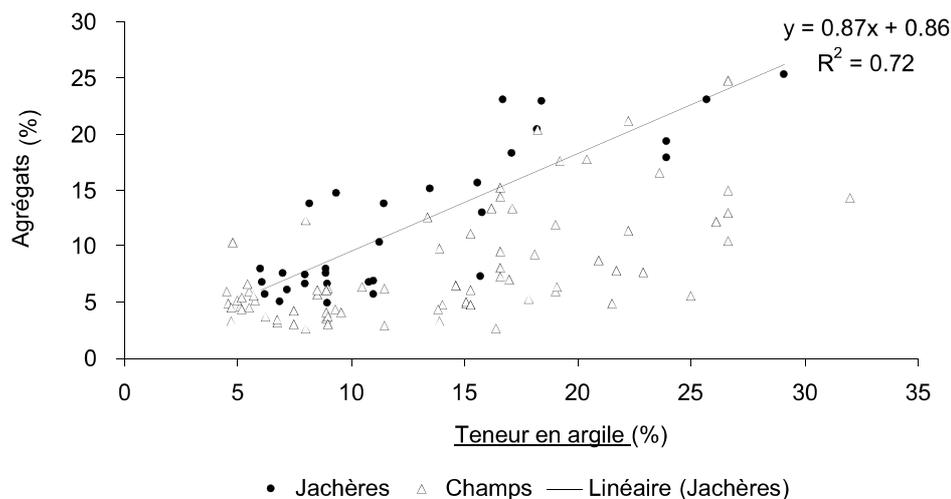


Figure 3 : Taux d'agrégats stables en fonction des teneurs en argile du sol.

Water stable aggregates as function of soil clay contents.

DISCUSSION

La dynamique de la matière organique des sols sous les différents systèmes de culture appréciée à travers les stocks organiques sous jachères naturelles ont été, généralement, supérieurs à ceux des sols cultivés. Ce qui est en accord avec les fonctions de restauration de la fertilité des sols qui leur sont reconnues (Serpantié et Ouattara, 2001 ; Ouattara *et al.*, 2006). Cependant, l'ampleur de l'accroissement du stock organique en fonction de l'âge des jachères demeure relativement faible dans les systèmes de culture cyclique (système à jachère). En effet, pendant vingt ans, le statut organique de ces jachères n'a représenté que 63 % du niveau d'équilibre atteint dans les *diuré* du système de culture itinérante. Ces résultats ont été également obtenus par Nacro *et al.* (2005) dans des conditions pédoclimatiques analogues. Mais, ils diffèrent de ceux de Aweto (1981) et de Jaiyeoba (1988), qui ont montré que, dans des conditions d'écologie forestière, 8 à 10 ans de jachère suffisent pour atteindre plus de 75 % du niveau d'équilibre. Ces différences peuvent être attribuées à la forte pression anthropique exercée sur les jachères de Bondoukui (pratique des feux de brousse en saison sèche, surpâturage pendant la phase jachère, etc.).

La mise en culture des sols s'accompagne inexorablement d'une baisse du statut organique

(Godefroy et Jacquin, 1975 ; Piéri, 1989 ; Ouattara *et al.*, 2006). Les sols du terroir de Bondoukui n'échappent pas à cette règle. On y observe globalement, au cours des 10 premières années de culture, une perte annuelle de 2,2 % (soit 357 kg.ha⁻¹). Cette valeur se situe dans la fourchette de 2 à 4 % établie par Berger *et al.* (1987) en zone cotonnière Ouest du Burkina Faso.

Les pertes les plus importantes de COS ont été observées dans les systèmes de culture permanente et, plus particulièrement en labours annuels. En effet, le travail du sol crée des conditions pédoclimatiques favorables à la biodégradation des substrats organiques et/ou à la minéralisation rapide du COS (Balesdent *et al.*, 2000 ; Chan *et al.*, 2002, Barreto *et al.*, 2009). Sédogo *et al.* (1994) ont rapporté, par ailleurs, une baisse annuelle de 3,3 % du statut organique, induite par les labours dans les sols ferrugineux du Plateau central du Burkina Faso.

La mise en culture s'accompagne généralement d'une diminution de la stabilité de l'édifice structurale des sols (Baldock *et al.*, 1987, Barthès *et al.*, 1996). Contrairement à l'évolution du statut organique, dont la baisse aboutit, après une dizaine d'années, à un pseudo équilibre, la décroissance du taux d'agrégats stables à l'eau, se poursuit encore pendant un temps plus long (Godefroy et Jacquin, 1975). Cela s'explique par les effets néfastes des labours qui créent au sein des macro agrégats (>250 µm) des plans

de ruptures exposant la matière organique, notamment les formes labiles, à la minéralisation (Haynes, 1999 ; Balesdent *et al.*, 2000 ; Chan *et al.*, 2002). Or, il est connu que ces formes labiles de matière organique, contribuent plus à la formation et à la stabilisation des agrégats du sol. Il va de soi que la résistance des agrégats est fonction de l'intensité des contraintes (labours annuels) appliquées au sol (Ouattara *et al.*, 2008, Barreto *et al.*, 2009). On comprend alors que les labours annuels induisent des baisses de 30 %, par rapport aux labours bisannuels et plus de 70 %, par rapport aux jachères naturelles en équilibre climacique.

On observe une plus grande stabilité des sols sous jachère naturelle tel que reporté par Duval *et al.*, 1993, Albrecht *et al.*, (1998) et Barreto *et al.*, 2009). Mais aucune corrélation n'a pu être établie entre les stocks organiques et le taux d'agrégats stables à l'eau. De même, l'accroissement du statut organique du sol induit par les apports de fumier ne s'est pas traduit par une amélioration conséquente de la stabilité structurale des sols. Enfin, à teneur en argile égale, l'évolution de la stabilité structurale a été croissante dans les sols sous jachère naturelle et décroissante dans les sols cultivés, indépendamment des variations du statut organique. Ces observations laissent présager que c'est plutôt la nature de la matière organique et non la quantité qui serait déterminante dans l'agrégation des sols. En effet, de nombreux travaux ont montré que les jachères naturelles, les prairies et les pâturages contribuent plus à l'amélioration et au maintien d'une bonne structure des sols (Godefroy et Jacquin, 1975 ; Aweto, 1981 ; Jaiyeoba, 1988 ; Barreto *et al.*, 2009). Ils sont le siège d'activités biologiques intenses. Dues à la présence de champignons, de bactéries, des racines, de la macro faune du sol) qui favorisent la formation de carbonnes labiles (carbohydrates, carbone de la biomasse microbienne du sol (Oades, 1984 ; Baldock *et al.*, 1987 ; Albrecht *et al.*, 1998 ; Six *et al.*, 2002 ; Ouattara *et al.*, 2008).

Nos résultats sont en accord avec ceux de Duval *et al.* (1993) et de Albrecht *et al.* (1998), qui ont montré que l'effet améliorant des prairies ou des jachères naturelles sur la structuration du sol croît avec les teneurs en argile. En effet, l'ensemble de ces résultats tendent à mettre en évidence le rôle primordial que joue le maintien d'une couverture vivante du sol (jachère naturelle ou artificielle, sole fourragère) dans

l'amélioration de la qualité biologique des sols cultivés.

CONCLUSION

Les jachères naturelles, considérées comme des moyens traditionnels de restauration du statut organique ne parviennent plus à jouer ce rôle d'antan. Ainsi, après 20 ans, le stock de matière organique dans les sols sous jachères cycliques ne représente plus que 63 % du niveau d'équilibre atteint dans les jachères des systèmes de culture itinérante.

La mise en culture des sols conduit inexorablement à une baisse de leur statut organique. L'amplitude de déstockage du carbone pendant la phase de culture est liée à l'intensité culturale et, plus précisément à celle des labours. En effet, en ameublissant le sol les labours, créent des conditions favorables à la minéralisation rapide de la matière organique. C'est ce qui explique que les labours annuels qui accompagnent les rotations coton-maïs, induisent une baisse importante du statut organique des sols. Ce qui entraîne, un effondrement de la structure du sol

La stabilité structurale des sols baisse avec la mise en culture, et plus particulièrement avec l'intensité du travail du sol malgré les apports de matière organique au sol. En revanche, la mise en jachère des sols cultivés, qui s'accompagne d'une augmentation du statut organique et d'une reprise, plus ou moins rapide de l'activité biologique selon la durée de la phase culturale, permet d'augmenter, de façon significative, le taux d'agrégats stables à l'eau. Ces observations montrent que c'est plutôt la nature et non la quantité de la matière organique qui serait responsable de l'agrégation des sols.

Dans la perspective d'une gestion conservatoire de ces sols, il faudra proscrire la pratique des labours et privilégier le maintien d'une couverture vivante du sol. Cela pourrait être envisagé à travers la mise en place de jachères «artificialisées», à base de graminées ou de légumineuses (sole fourragère). Cette technique peut être une alternative à la pratique des jachères naturelles de longue durée qui de plus en plus a tendance à disparaître des paysages agricoles.

REFERENCES

- Albrecht A., Angers D. A., Beare M. H. et E. Blanchart. 1998. Déterminants organiques et biologiques de l'agrégation : implications pour la recapitalisation de la fertilité physique des sols tropicaux. *Cahiers Agriculture* 7 : 357 - 363.
- Arrouays D., Kicin J. L., Pélissier P. et I. Vion. 1994. Evolution des stocks de carbone des sols après déforestation : Analyse spatio-temporelle à l'échelle d'un paysage pédologique. *Etude et Gestion des Sols* 2 : 29 - 37.
- Aweto A. O. 1981. Organic building-up in fallow soil in a part of south-western Nigeria and his effect on soil properties. *Journal of Biogeography* 8 : 67 - 74.
- Baldock J. A., Kay B. D. and M. Schnitzer. 1987. Influence of cropping treatments on the monosaccharides content of the hydrolysates of a soil and its aggregate fractions. *Can. J. Soil Sci.* 67 : 489 - 499.
- Balesdent J., Chenu C. and M. Balabane. 2000. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil and Tillage Research* 53 : 215 - 230.
- Barreto R. C., Madari B. E., John E. L., Maddock J. E. L., Pedro L. O. A., Machado P. L. O. A., Torres E., Franchini J. and A. R. Costa. 2009. The impact of soil management on aggregation, carbon stabilization and carbon loss as CO₂ in the surface layer of a Rhodic Ferralsol in Southern Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 132 : 243 - 251.
- Barthès B., Kouakoua E., Sala G. H., Hartmann C. et B. Nyeté. 1996. Effet à court terme de la mise en culture sur le statut organique et l'agrégation d'un sol ferrallitique argileux du Congo. *Can. J. Soil Sci.* 76 : 493 - 499.
- Berger M., Belem P. C., Dakouo D. et V. Hien. 1987. Le maintien de la fertilité des sols dans l'Ouest du Burkina Faso et la nécessité de l'association agriculture - élevage. *Cot. Fibr. Trop.* 47 : 201 - 207.
- Bloin M., Philippy R. et F. Bartoli. 1990. Dossier de valorisation d'un prototype de désagrégation des sols. Institut National de la Propriété Industrielle, Paris, 16 p.
- Chan K. Y., Heenan D. P. and A. Oates. 2002. Soil carbon fractions and relationship to soil quality under different tillage and stubble management. *Soil and Tillage Research* 63 : 133 - 139.
- Cheshire M. V. 1979. 'Nature and origin of carbohydrates in soils.' Academic Press : London, UK, 211 p.
- Devineau J. L., Fournier A. et B. Kaloga. 1997. Les sols et la végétation de Bondoukui (Ouest burkinabé). Présentation générale et cartographie préliminaire par télédétection satellitaire (SPOT). ORSTOM, Paris, 118 p.
- Duval M., Angers D. A. et M. R. Laverdière. 1993. Revue de quelques facteurs régissant l'état et la stabilité de la structure du sol. *Agrosol* VI (2) : 44 - 51.
- FAO. 2006. World Reference Base for soil resources 2006. A framework for international classification, correlation and communication. Ed. FAO, World Soil Resources Reports N°103, Rome, 128 p.
- Gnankambary Z., Sédogo M. P., Hien V. et F. Lompo. 1999. Détermination du facteur de correction de la méthode Walkley et Black pour le dosage du carbone organique dans les sols ferrugineux tropicaux du Burkina Faso. *In* SOAchim (Eds.). Communication aux 5^e Journées annuelles, Niamey., Ouagadougou, Burkina Faso, 5 p.
- Godefroy J. et F. Jacquin. 1975. Relation entre la stabilité structurale des sols cultivés et les apports organiques en conditions tropicales ; comparaison avec les sols forestiers. *Fruits* 30 : 595 - 612.
- Hangen E., Buczko U., Bens O., Brunotte J. and R. F. Hüttl. 2002. Infiltration patterns into two soils under conventional and conservation tillage : influence of the spatial distribution of plant root structures and soil animal activity. *Soil & Tillage Research* 63 : 181 - 186.
- Haynes R. J. 1999. Labile organic matter fractions and aggregates stability under short-term, grass-based leys. *Biology and Biochemistry Soil* 31 : 1821 - 1830.
- Hu S., Coleman D. C., Caroll C. R., Hendrix P. F. and M. H. Beare. 1997. Labile soil carbon pools in subtropical forest and agricultural ecosystems as influenced by management practices and vegetation types. *Agric. Ecosyst. Environ.* 65 : 65 - 78.
- Jaiyeoba I. A. 1988. Build-up of organic matter and nutrients under fallow in a tropical rain-forest environment, Nigeria. *Malaysian Journal of Tropical Geography* 18 : 10 - 16.
- Kemper W. D. and R. C. Rosenau. 1986. Aggregate Stability and Size Distribution. *In* 'Methods of soil analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods, Agronomy

- Monograph n°9. *In* : Klute A. (Eds.). American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, USA : pp 421 - 442.
- Lal R. 2000. Land Use and Cropping System Effects on Restoring Soil Carbon Pool of Degraded Alfisols in Western Nigeria. *In* : Lal R., Kimble J. M. and B.A. Stewart (Eds.). Advances in Soil Science. CRC Press, LLC, New York, USA, pp 157 - 165.
- Nacro H. B., Asimi S., Ouattara B., Somé N. A., Lompo F. and A. Ouédraogo. 2005. Dynamics of soil organic matter in sudanian fallows : distribution of organic matter and microbial activity in different particle size classes. *J. Sci.* 5 (1) : 7 - 14.
- Nye P. H. and D. J. Greenland. 1965. The soil under shifting cultivation. *In* : Commonwealth Bureau of Soil (Eds.). CAB Harpenders, 151 p.
- Oades J. M. 1984. Soil organic matter and structural stability : mechanisms and implications for management. *Plant and Soil* 76 : 319 - 337.
- Ouattara B., Ouattara K., Serpantié G., Mando A., Sedogo M. P. and A. Bationo. 2006. Intensity cultivation induced-effects on soil organic carbon dynamic in the Western Cotton area of Burkina Faso. *Nutrient Cycling in Agroecosystem* 76 : 331 - 339.
- Ouattara K., Ouattara B., Nyberg G., Sedogo M. P. and A. Malmer. 2008. Effects of ploughing frequency and compost on soil aggregate stability in a Cotton-Maize (*Gossypium hirsutum-Zea mays* L.) rotation system in Burkina Faso. *Soil Use & Management* 4 : 19 - 28.
- Piéri C. 1989. Fertilité des terres de savane : Bilan de trente ans de recherche et de développement agricole au sud du Sahara. Ministère de la Coopération, CIRAD/IRAT (Paris), 444 p.
- Ruthenberg H. 1971. Farming systems in the tropics. Oxford Science Publications, (3^e Ed. 1980), Oxford, 424 p.
- Sédogo M. P., Ouattara B. et F. Lompo. 1994. Le carbone et l'azote dans les différentes fractions granulométriques d'un sol ferrugineux tropical : effets de quatre types d'amendements organiques. *Sci. et Techn.* 21 : 114 - 124.
- Serpantié G. et B. Ouattara. 2001. Fertilité et jachères en Afrique de l'Ouest. *In* : Floret C. et R. Pontanier (Eds.). La jachère en Afrique Tropicale. De la jachère naturelle à la jachère améliorée. Le point des connaissances. Dakar (Sénégal). John Libbey, Eurotext, pp 21 - 83.
- Serpantié G. 2003. Persistance de la culture temporaire dans les savanes cotonnières d'Afrique de l'Ouest. Etude de cas au Burkina Faso. Doctorat de l'INA-PG, Paris-Grignon, Paris, Département AGER (France), 344 p.
- Siband P. 1974. Evolution des caractères de la fertilité d'un sol rouge de Casamance. *Agron. Trop., Sér. Agron. Générale* 24 : 1228 - 1248.
- Six J., Feller C., Denef K., Ogle S. M. and Sa. J. C. De Moraes. 2002. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils-Effects of no-tillage. *Agronomie* 22 : 755 - 775.
- Stoorvogel J. J. and E. M. A. Smaling. 1990. Assessment of soil nutrient depletion in subsaharian Africa : The Winan Staring Centre, 28, Wagenigen, pp 83 - 100.