

Influence du labour, du semis direct et du type de sol sur le stock de carbone, les pertes en terre et les rendements d'une rotation intensive (coton/maïs) au Mali Sud

DIALLO Drissa, ORANGE Didier, ROOSE Eric

Courriels : drdiallo@ird.fr , orange@ird.fr, Eric.Roose@ird.fr,

Résumé

Au Mali l'intensification de la rotation coton-maïs a favorisé une baisse de fertilité et l'érosion des sols. Dans ce contexte, l'étude de l'impact des nouvelles techniques sur les sols et les rendements des cultures a été conduite en 1998 et 1999 sur 17 parcelles d'érosion (100 à 1000 m²) en zone soudanienne. Les coefficients de ruissellement, faibles sous jachère (22%) atteignent 25 à 45% sous culture (ils sont plus élevés sous labour). L'érosion décroît de 25 t.ha⁻¹.an⁻¹ sur sol nu, à 18 sur labour, 6,6 sur semis direct sous litière (SDL) et 3,3 t.ha⁻¹.an⁻¹ sur jachère. Les pertes en carbone sur sol ferrugineux rouge varient de plus de 400 kg.ha⁻¹.an⁻¹ (labour) à moins de 150 kg.ha⁻¹.an⁻¹ (SDL et jachère). Elles sont respectivement 250 kg.ha⁻¹.an⁻¹ et moins de 150 kg.ha⁻¹.an⁻¹ sur sol brun vertique. Les flux de carbone particulaire à la sortie des parcelles cultivées sont 30 à 80 fois plus forts que dans le fleuve Niger, suite au piégeage dans le paysage. L'effet des techniques sur les rendements des cultures semble dépendre du type de sol et de la quantité de pluie. Les tendances sur le court terme ne sont pas nettes. A long terme, le semis direct sous litière devrait améliorer le sol et sa productivité en Afrique occidentale.

Mots clés : Mali Sud ; Ruissellement, Erosion, Labour, Semi direct sous litière, Pertes de Carbone

Abstract: The impact of tillage, direct sowing and soil type on the carbon stock and soil erosion among an intensive rotation (cotton/corn) in Southern Mali

In Mali the intensification of rotation including cotton and corn induced soil and environmental degradation. In this context, the impact of the new techniques on soil and crops yield was measured in 1998 and 1999. Experimentation on 17 plots (100 to 1000 m²) on red ferruginous soil and brown vertic soil of Djitiko watershed (12° 03' N, 8° 22' W) made it possible to compare fallow, conventional tillage and direct sowing under litter (SDL). The runoff, 22% under fallow, is about 25 to 45% on cultivated plots (values are higher under tillage). Soil erosion decrease from 25 t.ha⁻¹.yr⁻¹ on bare soil, to 18 on tillage, 6,6 on SDL and 3,3 t.ha⁻¹.yr⁻¹ on fallow. Carbon losses vary according soils, land use and techniques: more than 400 kg.ha⁻¹.yr⁻¹ (tillage) to less than 150kg.ha⁻¹.yr⁻¹ (SDL and fallow) on red soil and respectively 250 kg.ha⁻¹.yr⁻¹ and less than 150 kg.ha⁻¹.yr⁻¹ on brown vertic soil. Particulate carbon flows at the exit of the cultivated plots are 30 to 80 times stronger than in the Niger river, according trapping into the landscape. Techniques impact on crops yield seems to depend on soil type and rainfall. The tendencies on the short term are not clear. In the long run, the direct sowing under litter should improve soils and their productivity in Western Africa.

Key words: Southern Mali; Runoff, Erosion, Tillage, drilling under litter, Carbon losses by erosion

1. Problématique

Le programme cotonnier au Mali, à partir des années 1970, a concerné plus de 135 000 km² et plus de 2,5 millions d'habitants. Il a permis l'intensification des cultures (coton et maïs en particulier). La mécanisation (avec traction animale), proposée aux agriculteurs, a favorisé l'extension des superficies cultivées, la réduction de la durée des jachères et le surpâturage. En conséquence depuis 1980, d'importants bouleversements environnementaux sont observés et les agriculteurs se plaignent de l'ampleur du ruissellement, de l'érosion et de la baisse de fertilité des sols. Ces constats ont justifié, au cours des campagnes agricoles 1998 et 1999, des études expérimentales du ruissellement et de l'érosion des sols (Diallo, 2000 ; Diallo et al, 2004). Elles ont principalement visé la comparaison de l'impact des techniques culturales (labour conventionnel, travail minimum du sol ou semis direct sur litière) sur l'érosion, le stock de carbone du sol et les rendements des cultures.

2. Milieu d'étude et méthodes

L'étude a été conduite dans le bassin versant de Djitiko (12°03'N, 8°22'W), couvrant 103 km² dans le haut bassin du Niger (figure1). La pluviosité moyenne annuelle à Kangaba (station de référence) est 1076mm pour la période 1935- 1995. Le petit bassin versant se repartit entre quatre principales couvertures pédologiques (figure2). Pour comparer l'impact de l'occupation du sol et des pratiques culturales, les expérimentations sont conduites sur des parcelles de 100 à 1000 m², de pentes modérées (1 à 3%) :

- parcelle nue (risque potentiel maximum.) ;
- rotation coton-maïs sur parcelle labourée ;
- coton-maïs sur parcelle de travail minimum du solo ou semis direct sur litière d'adventices herbicides
- jachère de plus de 20 ans (risque minimum).

Ces parcelles sont principalement localisées sur un sol ferrugineux tropical rouge argilo-sableux acide (Kaolinite), désigné ici par S1 et sur un sol brun vertique (Beidellite) beaucoup plus riche, désigné par S2.

La caractérisation des états de surface, à l'intérieur des parcelles expérimentales est faite selon les techniques définies par Roose (1996) et en insistant en particulier sur la couverture et l'ouverture du sol. Le stock de carbone est évalué pour l'horizon superficiel (0-10 cm) à partir de sa concentration en carbone et sa densité apparente. Les mesures de ruissellement et d'érosion sont faites de façon classique sur parcelles isolées. Les pertes en carbone sont évaluées à partir des sédiments et eaux de ruissellement.

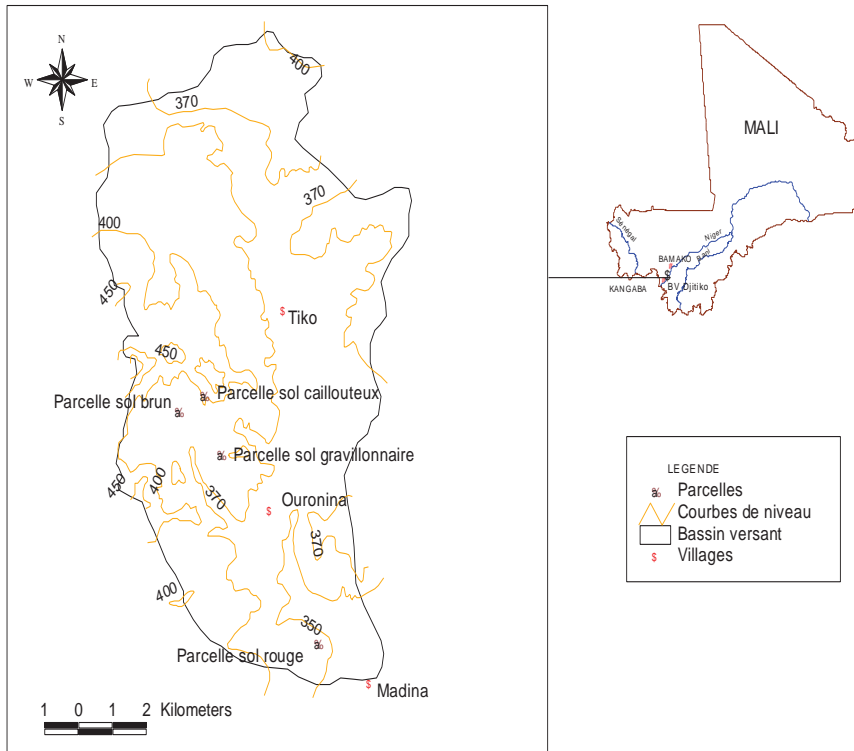


Figure 1: Situation géographique du bassin versant de Djitiko

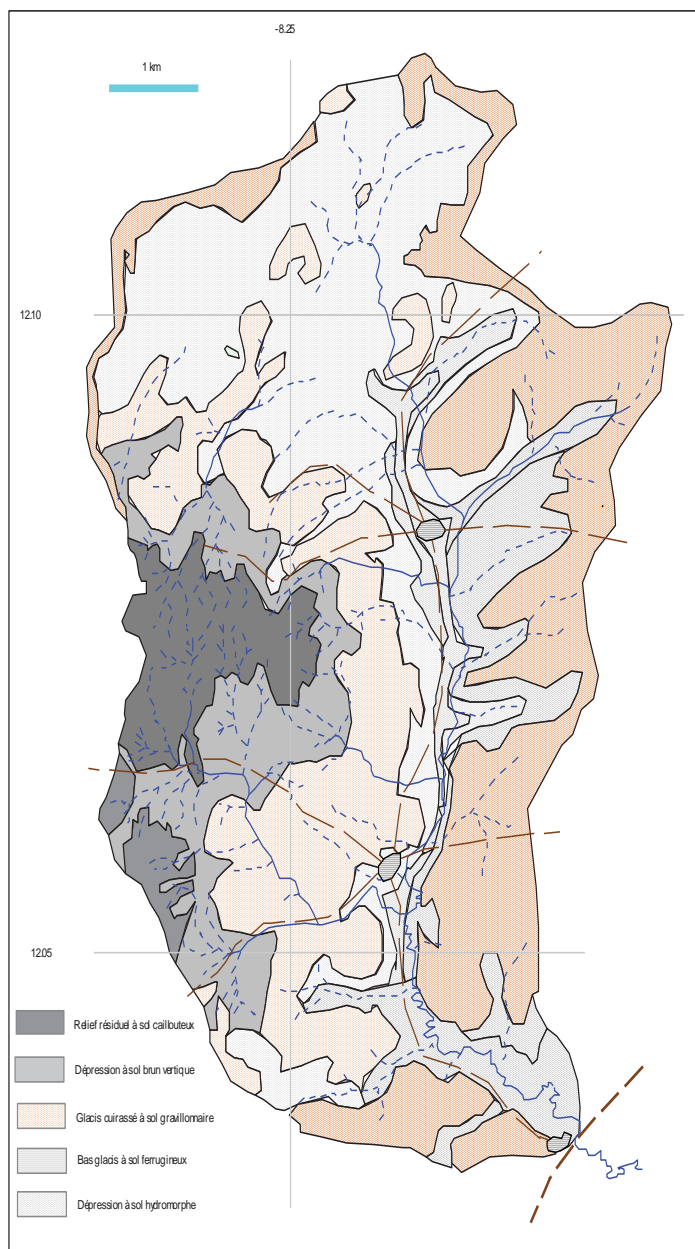


Figure 2 : Carte morphopédologique du bassin versant de Djitiko

3. Résultats

3.1 Impact de l'occupation du sol et des pratiques agricoles sur les états de surface

Les indicateurs d'état de surface utilisés ici (la couverture du sol par la végétation et la litière, l'ouverture du sol) sont variables au cours de l'année, en fonction du type de sol, de son occupation et des techniques culturales (tableau 1 et figure 3).

La couverture du sol dans la jachère, est légèrement plus élevée sur sol brun vertique que sur sol rouge, respectivement 41% et 34 % en début de saison pluvieuse, au mois

de mai. Ces taux de recouvrement sont au moins multipliés par deux à partir de juillet. Les parcelles cultivées sont presque nues en début de saison des pluies, mais elles présentent dès la moitié de la saison des taux de recouvrement de l'ordre de 80 à plus de 90 % sur sol brun et de 60 à 90 % sur sol ferrugineux rouge. Le taux de couverture est toujours meilleur sous semis direct que sous labour. Les différences sont 8% sur sol brun et 3 % sur sol rouge en début de saison, et respectivement 16% et 27% pendant le reste de la saison.

Tableau 1: Dynamique de recouvrement du sol sur parcelles expérimentales (bassin versant de Djitiko)

Occupation du sol et pratique culturale	Début de saison				Milieu- fin de saison			
	Nu	Litière	végétation	Recouvrement	Nu	Litière	végétation	Recouvrement
JS1	65	31	3	34	26	16	58	74
JS2	59	31	10	41	18	13	69	82
LS1	92	8	0	8	36	26	38	64
LS2	87	11	2	13	18	21	61	82
SDLS1	89	7	4	11	9	39	52	91
SDLS2	79	16	5	21	2	29	69	98

S1 : Sol 1 (Sol ferrugineux tropical rouge) ; S2 : Sol 2 (Sol brun vertique)

J : jachère ; L : labour ; SDL : semis direct sous litière (travail minimum du sol)

Les taux d'ouverture du sol, fonction du type de sol, de son occupation et des pratiques culturales, sont faibles en début de saison pluvieuse et deviennent nettement plus importants par la suite (figure 3).

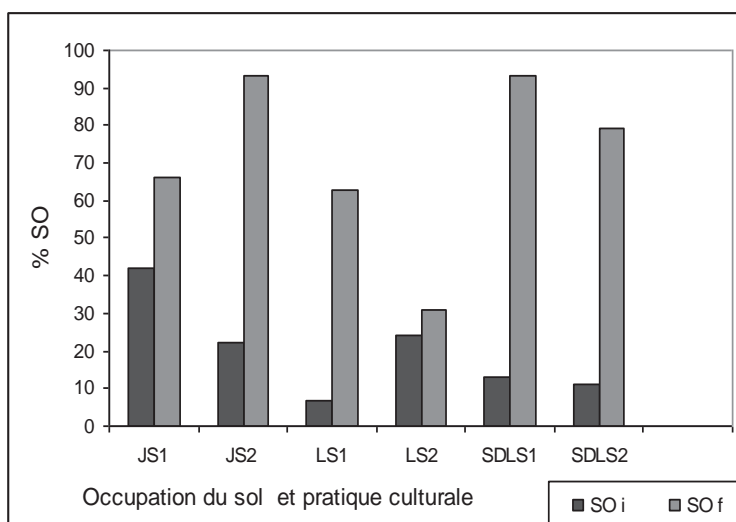


Figure 3 : Dynamique des surfaces ouvertes sur parcelles expérimentales (bassin versant de Djitiko)

S1 : Sol 1 (Sol ferrugineux tropical rouge) ; S2 : Sol 2 (Sol brun vertique) ;

J : jachère ; L : labour ; SDL : semis direct sous litière (travail minimum du sol) ; SO : surface ouverte ; SOi : taux initial d'ouverture (début de saison pluvieuse) ; SOf : taux final d'ouverture (fin de saison pluvieuse).

3.2. Impact des pratiques agricoles sur le stock de carbone du sol

Dans toutes les situations étudiées, le sol brun vertique montre des stocks de carbone plus importants que le sol ferrugineux tropical. Les valeurs moyennes mesurées sous jachère sont respectivement $42,7 \text{ t ha}^{-1}$ et $14,3 \text{ t ha}^{-1}$. En milieu cultivé le travail minimum du sol ou SDL montre toujours un stock de carbone supérieur à celui mesuré sous labour (tableau 2).

Tableau 2 : Usage des sols et stock de carbone dans couche (0-10 cm) du sol ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$) dans le bassin versant de Djitiko

Occupation du sol et pratique culturale	JS1	JS2	LS1	LS2	SDLS1	SDLS2
Stock de carbone	14,3	42,3	9,2	41,9	11,3	59,2

S1 : Sol 1 (Sol ferrugineux tropical rouge) ; S2 : Sol 2 (Sol brun vertique)

J : jachère ; L : labour ; SDL : semis direct sous litière (travail minimum du sol)

3.3. Ruissellement mesuré

Il faut préciser qu'au cours de la période de mesure les pluies ont été déficitaires (995 mm) en 1998 et excédentaires (1355 mm) en 1999. Les coefficients de ruissellement annuels moyens mesurés sur parcelles sont montrés à la figure 4. Ils sont variables en

fonction du type de sol et surtout de son occupation et de la pratique agricole. Dans tous les cas, les coefficients de ruissellement sous jachère (22%) sont inférieurs à ceux mesurés sur parcelles cultivées (25 à 45%). La différence entre le labour (qui ruisselle plus) et le semis direct est de 20% sur sol ferrugineux tropical et de 3% sur sol brun vertique.

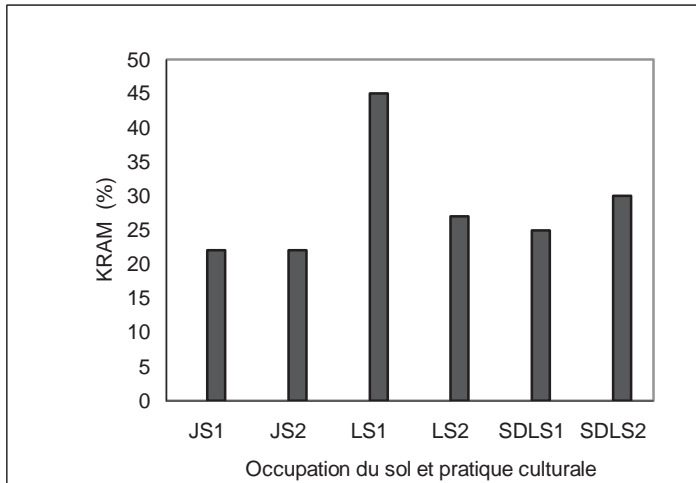


Figure 4 : Usage des sols et ruissellement dans le bassin versant de Djitiko (mesure sur parcelles expérimentales en 1998 et 1999)

S1 : Sol 1 (Sol ferrugineux tropical rouge) ; S2 : Sol 2 (Sol brun vertique) ; J : jachère ; L : labour ; SDL : semis direct sous litière (travail minimum du sol) ; KRAM : coefficient de ruissellement annuel moyen

3.4. Pertes en terre

Les pertes en terre mesurées, montrées à la figure 5, sont de l'ordre de 25 à 30 t.ha⁻¹.an⁻¹ sur parcelles nues (NS1 et NS2). Elles sont faibles sous jachère et assez importantes sur parcelle labourée. On note bien que le travail minimum du sol ou semis direct sous litière permet de maintenir l'érosion annuelle à un niveau faible.

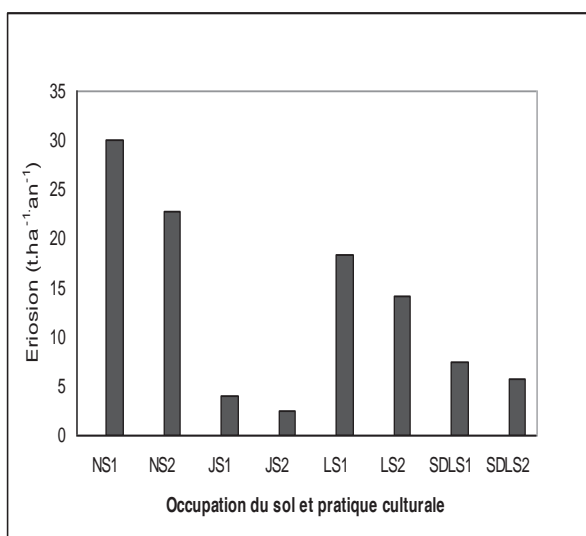


Figure 5: Usage des sols et perte en terre dans le bassin versant de Djitiko (mesure sur parcelles expérimentales en 1998 et 1999)

S1 : Sol 1 (Sol ferrugineux tropical rouge) ; S2 : Sol 2 (Sol brun vertique) ; N : parcelle nue ; J : jachère ; L : labour ; SDL : semis direct sous litière (travail minimum du sol)

3.5 Pertes en carbone

Les pertes totales en carbone varient de plus de 400 kg.ha⁻¹.an⁻¹ sur sol ferrugineux tropical labouré à moins de 150 kg sous SDL et vieille jachère, et de 250 kg. ha⁻¹.an⁻¹ sur sol brun labouré à moins de 150 kg sous jachère et SDL. Les teneurs en carbone soluble dans les eaux du fleuve Niger sont du même ordre que celle des parcelles mais par contre les teneurs en carbone solide sont 20 à 40 fois plus faibles dans les eaux du fleuve que dans le ruissellement au bas des parcelles.

3.6. Rendements des cultures

Les rendements du maïs et du coton graine sont respectivement montrés aux figures 6.1 et 6.2. Sur sol ferrugineux tropical, le rendement du maïs est nettement meilleur sur parcelle labourée que sur parcelle de semis sur litière. Par contre sur sol brun vertique, les deux pratiques culturales donnent des rendements très peu différents. Les rendements de coton graine sur sol brun vertique sont meilleurs avec le semis direct sous litière.

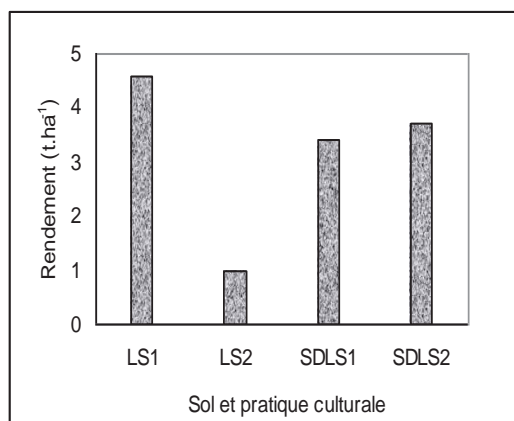


Figure 6.1 : Rendements du maïs sur parcelles expérimentales

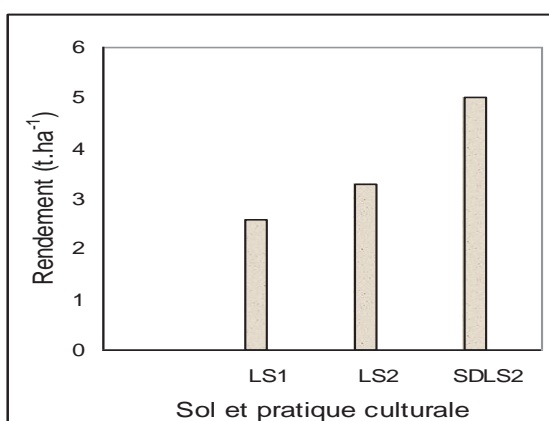


Figure 6.2 : Rendements du coton graine sur parcelles expérimentales

S1 : Sol 1 (Sol ferrugineux tropical rouge) ; S2 : Sol 2 (Sol brun vertique) ; N : parcelle nue ; J : jachère ; L : labour ; SDL : semis direct sous litière (travail minimum du sol)

4. Discussion

4.1. Les états de surface et leur évolution

La faible couverture des sols en début de saison pluvieuse s'explique en grande partie par les modes actuels de gestion du milieu, en particulier la pratique annuelle des feux de brousse qui brûlent la presque totalité des biomasses herbacée et détritique, l'exportation des résidus de récolte (prélèvement pour divers besoins domestiques, pâture par les bovins). Ces pratiques ont deux conséquences graves sur les sols :

- difficulté de maintien et encore moins d'amélioration des taux de carbone et de matière organique dans le sol ;
- augmentation du risque d'érosion, les sols étant exposés à l'action violente de l'harmattan pendant la saison sèche et aux violentes pluies de début saison.

La nette augmentation des taux de couverture en pleine saison, quelque soit le sol et son occupation, s'explique par les bonnes conditions hydriques. Sur parcelle cultivée, le taux de couverture est légèrement supérieur avec le semis direct qu'avec le labour du fait de la gestion améliorée des adventices avec la première technique. En comparaison avec la jachère, l'apport d'engrais minéraux aux cultures accroît la production de biomasse et atténue l'effet de la dégradation relative des propriétés des sols en milieu cultivé.

Les différences de caractéristiques morphologiques, physiques et chimiques entre les deux types de sol et leur comportement spécifique sous culture semblent expliquer les différences de recouvrement observées quelque soit la période de mesure. La bonne structure, les meilleurs teneurs en matière organique et en bases favorisent le sol brun.

En ce qui concerne le taux de surfaces ouvertes, la situation sous jachère en début de saison pluvieuse, semble dépendre de deux facteurs : la fissuration par dessiccation des argiles et surtout l'activité faunique. Une forte activité faunique (actions des termites et autres insectes, des vers et des rats), nettement visible sur le sol ferrugineux rouge expliquerait la meilleure ouverture de ce sol en cette période. Au cours de la saison pluvieuse, l'ouverture du sol sous jachère semble être d'autant plus importante que le couvert herbacé est développé, d'où un meilleur comportement du sol brun vertique. Pendant cette période, les parcelles de semis direct montrent plus d'ouverture, ce qui est lié à une meilleure accumulation de biomasse détritique.

4.2. Stockage du carbone

Les meilleurs stocks de carbone enregistrés sous jachère et sur parcelle de semis direct (SDL) peuvent s'expliquer par des raisons différentes (Diallo et al, 2007). La jachère correspond à une plus longue période d'accumulation et de décomposition des débris végétaux. Concernant la parcelle de semis direct, elle est le siège d'une très forte activité faunique liée à l'accumulation de mulch suite à l'herbicidage de début de saison. Par ailleurs, sur cette parcelle les cultures bénéficient de fertilisation minérale favorisant une forte production de biomasse végétale. Concernant l'influence du type de sol, les faibles stocks du sol ferrugineux rouge pourraient s'expliquer par sa fraction argileuse qui est de la kaolinite à faible capacité d'échange ionique.

4.3. Ruissellement et érosion des sols

La différence de sensibilité des deux types de sol au ruissellement est clairement mise en évidence par les coefficients mesurés. Le sol ferrugineux tropical qui montre les plus forts coefficients de ruissellement semble être le plus sensible à la réorganisation superficielle (matériau riche en limon, plus de 50 % du matériau superficiel) défavorable à l'infiltration. Les faibles valeurs de la pluie d'imbibition (13 mm à l'état sec et 6 mm à l'état humide) notées sur ce sol (Diallo et al, 2005) sont indicatives dans ce sens. La forte perméabilité du sol brun en début de saison, probablement en rapport avec sa forte fissuration, permet d'expliquer en partie les relatifs faibles coefficients de ruissellement. Pour ce qui est de l'augmentation du ruissellement avec le labour, elle peut s'expliquer par la forte réorganisation superficielle (développement rapide de croûtes et pellicules). Quant à la diminution du ruissellement avec le travail

minimum du sol, elle est favorisée aussi par un effet "état de surface" : présence du mulch, stimulateur de l'activité biologique et de l'ouverture du sol.

La faible perte de terre qui est enregistrée sous jachère est tout à fait normale, conforme aux connaissances acquises sur l'érosion des sols. Cependant l'érosion mesurée ici (plus de $3 \text{ t ha}^{-1}\text{an}^{-1}$) sous jachère, sur sol ferrugineux est supérieure aux valeurs données dans la littérature relative à la zone soudanienne : par exemple les mesures faites par Roose au cours des années 1970 (Roose, 1977). A ce sujet, on peut rappeler qu'en Afrique tropicale, les pratiques de jachère sont très variées (Nkamleu et al, 2000) et cela peut favoriser une diversité de caractéristiques biologiques et de fonctionnements géodynamiques. Sur un autre plan, les érosions mesurées sous jachère semblent surprendre vu les modes de gestion de la biomasse, discutés plus haut. Les fortes pertes en terre, enregistrées sur parcelles labourées montrent bien que cette pratique expose le sol à l'érosion, un constat déjà noté par de nombreux chercheurs (Boli et Roose, 2004). Il faut noter que le labour ne permet pas le maintien d'un bon état de surface et favorise l'érosion. A l'opposé, le travail minimum du sol (SDL) favorise l'accumulation de mulch à la surface du sol d'où une meilleure protection contre l'énergie cinétique des pluies et de ruissellement et enfin une protection du sol contre l'érosion.

4.4. Flux de carbone

La nette prépondérance du carbone particulaire dans les pertes mesurées à l'échelle parcellaire montre bien que le carbone est principalement entraîné avec les fractions granulométriques du sol. Ces flux de carbone particulaire à l'échelle des parcelles cultivées étant 30 à 80 fois plus forts que ceux mesurés dans le fleuve, on admet qu'il y a piégeage de terre organique dans les dépressions et vallées. Les sols des pentes s'appauvrissent par érosion tandis que les sols des plaines s'enrichissent en terre fine et en matière organique.

4.5. Rendements des cultures

La comparaison des effets du labour et du semis direct sur les rendements des cultures reste une question complexe. Sur ce point, les influences probables de la quantité annuelle de pluie et du type de culture ont été signalées à propos du nord Cameroun (Diallo et al, 2005). Les résultats sur sol brun vertique de Djitiko montrent que les effets de ces techniques semblent dépendre aussi du type de sol.

5. Conclusion

La pratique du semis direct sous litière s'est montrée efficace pour réduire le ruissellement, l'érosion, y compris les pertes en carbone : c'est moins net pour la production des cultures mais cela pourrait s'améliorer avec le temps. En effet le semis direct qui conduit à une augmentation du stock de carbone dans l'horizon humifère des sols argilo-limoneux testés est presque aussi efficace que la jachère pâturée. La richesse chimique des sols testés et leur résistance à l'érosion dépendent à la fois de la texture et du type d'argile, du stock de matière organique et de la litière couvrant le sol en permanence. Ces deux années d'expérimentation ont montré que le labour est responsable d'une grande perte de carbone par érosion et surtout par minéralisation de l'humus : cependant la poursuite des expérimentations est souhaitable en fonction de l'importance des variations climatiques. Les pertes de carbone soluble sont comparables de la parcelle d'érosion au fleuve Niger : toute la matière organique soluble est donc exportée. Par contre, les rivières n'exportent que 1 à 3% des

matières érodées particulières, l'essentiel de cette fraction restant piégé dans le paysage (micro dépressions et zones d'épandage des colluvions et des alluvions). A long terme, le semis direct sous litière devrait améliorer le sol et sa productivité en Afrique occidentale si on arrive à supprimer les feux de brousse et la pratique de la vaine pâture (deux pratiques qui dégradent actuellement la couverture).

6. Références bibliographiques

Boli Z. , Roose E.(2004). Effets comparés du labour classique et du non labour sous litière sur le fonctionnement de deux sols ferrugineux tropicaux sableux à Mbissiri, Nord Cameroun, Bull. Réseau érosion 23 : 431-437

Diallo D. (2000). Erosion des sols en zone soudanienne du Mali. Transfert des matériaux érodés dans le bassin versant de Djitiko (Haut Niger). Thèse de doctorat de l'Université Joseph Fourier de Grenoble : 202 p

Diallo D., Boli.,Z., Roose E. (2007). Influence of No-Tillage on soil conservation, carbon sequestration and yield of Intensive rotation Maize-cotton: Research on Sandy Alfisols of Cameroon an Mali. World Association of Soil and Water Conservation, special publication NO.3, 383-392

Diallo D. , Boli Z. , Roose E (2005). Labour ou semis direct dans les écosystèmes soudano sahéliens (cas du Cameroun et du Mali). Actes des Journées scientifiques du Réseau Erosion et GCES de l'AUF. pp 181-188

Diallo D., Barthès B., Orange D., Roose E. (2004). Comparaison entre stabilité des agrégats ou des mottes et risques de ruissellement et d'érosion en nappe mesurés sur parcelles en zone soudanienne du Mali. Sécheresse, 15, 1, 57-64.

Nkamleu G.B., Kamajou F., Gockowski J.(2000) La pratique de la jachère en Afrique tropicale. Caractérisation comparée au Nigeria et au Cameroun *In La jachère en Afrique Tropicale- Ch. Floret, R. Pontanier John Libbey Eurotext. Paris 2000. pp 1-5*

Roose E. (1996). Méthode de mesure des états de surface du sol, de la rugosité et des autres caractéristiques qui peuvent aider au diagnostic de terrain des risques de ruissellement et d'érosion, en particulier sur les versants cultivés des montagnes, Bull. Réseau érosion 16 : 87-97

Roose E. (1977). Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest. Vingt ans de mesure en petites parcelles expérimentales. Editions ORSTOM, Paris : 107p.



Ambassade de France en Haïti

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

Editeurs scientifiques

Eric ROOSE, Hervé DUCHAUFOR et Georges DE NONI

avec le soutien de

l'Université d'État d'Haïti

l'Université de Quisqueya

le SCAC de l'Ambassade de France en Haïti

l'Institut de recherche pour le développement (IRD)

IRD EDITIONS

Marseille, 2012

© IRD, 2012

ISBN : 978-2-7099-1728-5