

Influence du labour, du fumier et de l'âge de la défriche sur le stock de carbone du sol et les pertes de C par érosion et drainage dans une rotation intensive coton /maïs sur un sol ferrugineux tropical sableux du Nord Cameroun (Mbissiri, 1995)

Bep Aziem Benjamin*, Boli Baboule Zachée** et Roose Eric ***

* UDIA/PRSSE, BP 15294 Messa -Yaoundé, Cameroun. Email : bep2005@yahoo.fr

** IRAD BP 2123 Messa Yaoundé, Cameroun. Tel/Fax: (237) 223 35 38/ 990 96 00

***IRD,BP 64501,F34394,Montpellier,France.Fax :(33)467 41 62 94 Email : roose@mpl.ird.fr

Résumé

Dans la zone soudanienne du Nord Cameroun, l'action combinée du climat et de certaines techniques d'intensification de la culture cotonnière favorise la dégradation des sols par minéralisation des matières organiques (MOS) et par érosion. Sur 9 parcelles (100 m²) du dispositif de Mbissiri, ont été mesurées les quantités de carbone perdu sous forme solide (POC) par érosion hydrique (terres de fond et matières en suspension) et sous forme dissoute (DOC) dans les eaux de ruissellement (RU) et de drainage (DR).

Les quantités de carbone perdues totales en 1995 varient de 133 à 148 kg/ha/an dans les parcelles labourées sur bloc récemment défriché et 113 à 168 kg/ha/an sur le bloc dégradé par 30 ans de culture. Sur les parcelles en semis direct sous litière de résidus de culture, les pertes sont moins importantes : 64 kg/ha/an sur le bloc jeune et 24 kg /ha/an sur le bloc dégradé. Les pertes en C particulaire (POC) représentent 73 à 95% du total des pertes sous labours et un peu moins (52 à 89%) sous semis direct. Les pertes en C soluble (DOC) sont donc moins importantes (0.4 à 33% dans le ruissellement et 5 à 7 % dans le drainage). Dans les parcelles labourées, l'évolution de la teneur de carbone pendant la campagne est croissante dans les suspensions et décroissante dans les terres de fond. Elle passe par un pic dans la période de buttage.

Les teneurs en carbone du sol (SOC) diminuent très rapidement de 0.7% sous savane pâturée brûlée à 0,3 après 5 ans et 0,20 après 35 ans de labour. L'apport annuel de 3 t/ha (MS) de fumier de chèvre ne change rien au stock de carbone du sol, malgré l'augmentation de la production de biomasse. Sur semis direct sous litière, les teneurs en SOC se stabilisent vers 0.4 % sur les dix premiers cm du sol avec une densité apparente un peu plus élevée. L'amélioration du stock de carbone du sol passe par une gestion raisonnée des résidus végétaux (résidus de culture, litières, mulch) à la surface du sol, ou par le développement de jachères de courte durée mais à haut potentiel de production de biomasse (ex. *Calopogonium mucunoides* ou *Cassia siamea*). Par leur effet direct sur la susceptibilité des sols ferrugineux à l'érosion et au ruissellement, les systèmes de culture étudiés affectent de façon significative les pertes de C sur les plans qualitatif et quantitatif dans les sols cultivés.

Mots Clés : Cameroun, Pertes de carbone, POC, DOC, Erosion, Drainage, Travail du sol, Age de la défriche, stock de carbone.

Evaluation of Carbon losses by water erosion and its evolution in the soil under cotton/cereals rotation cropping systems. Case of one sandy alfisols of North Cameroon

Abstract

In the Sudanese Zone of North Cameroon, it was noticed that the combined action of hot climate and certain techniques of intensive cotton cultivation does favour soil degradation by soil organic matter (SOM) mineralization and by erosion. On 9 erosion experimental plots

of sandy alfisols in Mbissiri, we measured the quantity of particular carbon (POC) lost by hydric erosion (expressed through rough sediments (TDF) and fine particles in suspension (MES) and dissolved organic carbon (DOC) in run-off water (RU) and drainage (DR) in function of time, the cropping system and age of the plots deforestation.

The total organic carbon (TOC) lost during 1995 varied from 133 to 148 kgC./ha/yr in the tilled plots from 5 years bloc and from 113 to 168 kg/ha/yr in the degraded 35 years tilled block. On the zero tillage plots the losses were less important (64 kg/ha/yr on recent fields to 24 kg/ha/yr on degraded fields. The difference between blocks is not significant. The POC fraction represent 73 to 95% of the total C losses on tilled plots and slightly less for the zero tillage plots (52 to 89%). The dissolved losses are less important : 5 to 22% in the runoff and 5 to 7% in the drainage. The carbon content in the tilled plots has an increasing trend in the suspension materials and a decreasing trend in the coarse sediments: it attained a peak during the ridging period.

The SOC of the topsoil decreased very fast from 0.7% under grazed and burned savannah to 0.30 after 5 years cultivating and 0.20 after 35 years tilling. Incorporation of 3 t/ha/year (Dry Matter) of goat farmyard manure did not change erosion risks nor Carbon stock but increased the biomass production. On zero tillage plots the SOC stabilised at 0.40 with a bulk density slightly higher.

The improvement of the soil carbon stock depends on the management of crop residues (crop roots, litter, mulch) at the soil surface or by the development of short fallow systems with high biomass production potential (ex. *Callopogonium mucunoides* or *Cassia siamea*). By their direct effect on the vulnerability of ferruginous soils to erosion and to run-off, the factors studied (tillage, age of deforestation) affected indirectly the carbon losses in cultivated soils both quantitatively and qualitatively.

Key Words: Cameroon, carbon losses, erosion, drainage, soil tillage, age of deforestation, suspensions, coarse sediments, carbon stock.

1. INTRODUCTION

La sécheresse qui a sévi au début des années 1970 au Nord Cameroun a entraîné une grave diminution de la production de coton (de 91 à 40 000 tonnes de 1969 à 1974). Pour relancer la production, la SODECOTON, société mixte de développement, prit deux mesures importantes : étendre la culture vers des zones soudaniennes plus humides (risque d'érosion et drainage) et intensifier le système de culture par le travail mécanisé du sol (labour, sarclage, buttage), l'apport d'engrais minéraux pour compenser les pertes par exportation (N30-P40-K30-S12-B2 et 50 kg/ha d'urée), la protection phytosanitaire, les variétés améliorées et l'encadrement rapproché. Ces solutions ont redressé les rendements, mais après une quinzaine d'années, ces sols sableux épuisés devaient être abandonnés au bénéfice de nouvelles défriches : c'est un retour à la culture itinérante, devenue impossible du fait du développement de l'habitat et des infrastructures en dur (Boli et al, 1991).

Pour comprendre l'origine de cette dégradation, une enquête diagnostic dans le SE Bénoué a montré que le labour et la minéralisation rapide des MOS étaient à l'origine de la dégradation de la structure et de l'érosion. Or les études sur le travail du sol en zones tropicales aboutissent à des conclusions divergentes. En zone guinéenne du Nigéria, Lal (1983) a montré que le labour dégrade le sol et préconise des systèmes de travail réduit sous litière pour une production plus durable. Blancaneaux et al (1993) ont trouvé des résultats semblables sur des sols ocres ferrallitiques des savanes du Brésil central. Dans les zones soudano-sahéliennes du Sénégal et du Burkina, Charreau et Nicou (1971), Nicou et Poulain (1982) trouvent que le labour est indispensable pour améliorer l'enracinement et la production

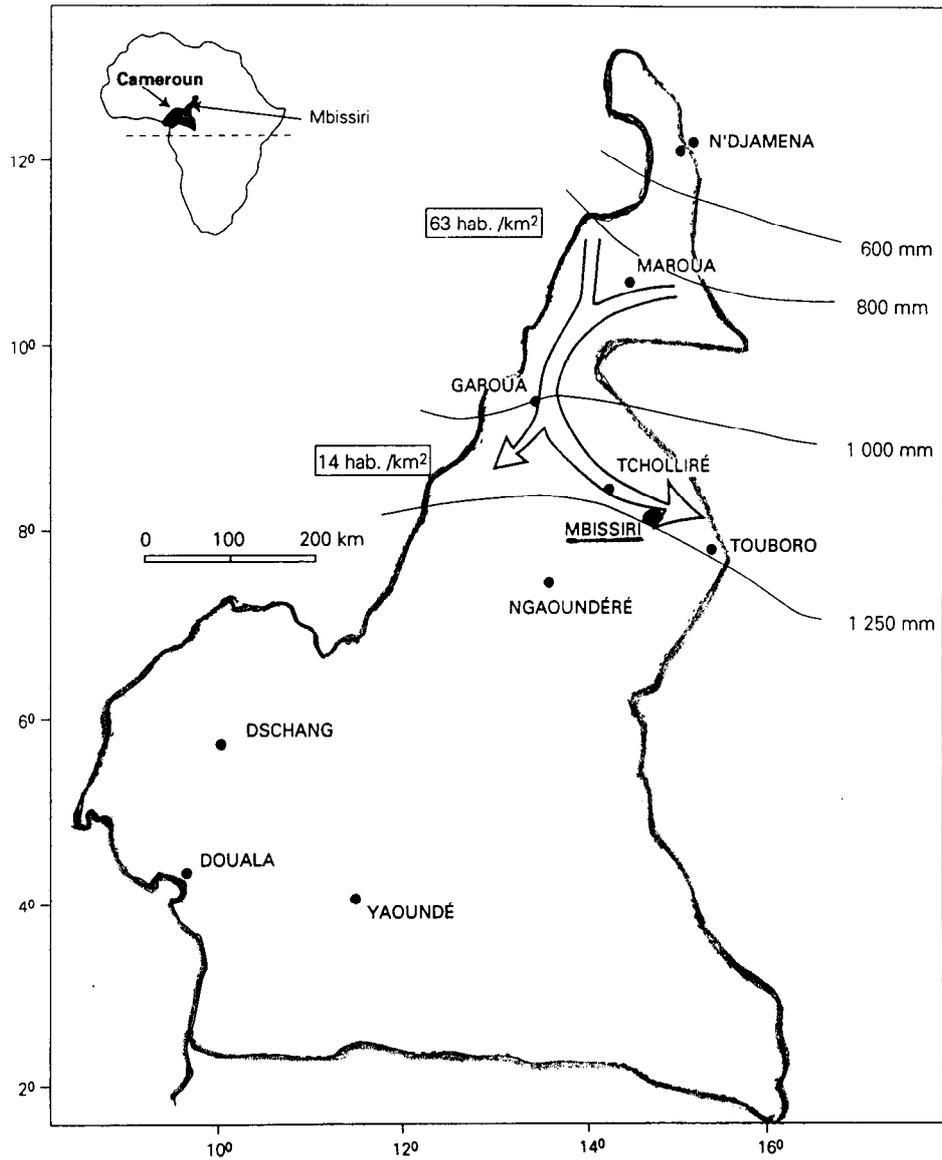


FIG. 1. — Carte de situation, des précipitations annuelles moyennes et des migrations.
Location map including mean annual rainfalls and migrations.

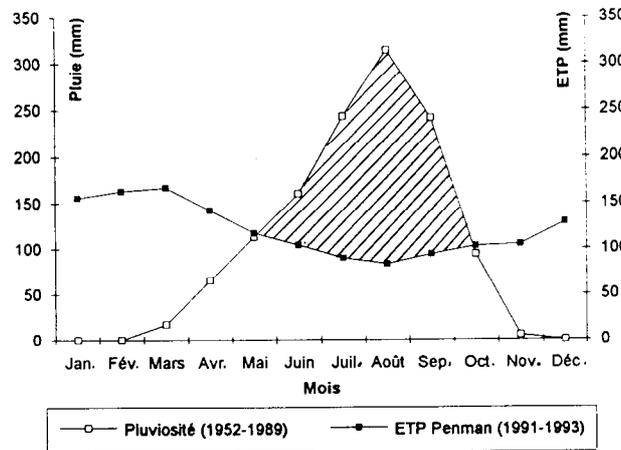


FIG. 2. — Pluie et évapotranspiration Penman (station de Touboro).
Rainfall and Penmann evapotranspiration (Touboro station).

des céréales. Au Zimbabwe, Elwell (1993) observe aussi que les rendements sont plus faibles dans les systèmes sans travail du sol. Enfin au Burkina Faso, Nicou et al, (1987) concluent que pour le bilan hydrique, il n'y a pas lieu de généraliser une seule technique sur tout le territoire : il faut s'adapter au contexte agro-climatique. Cette divergence s'explique par le défaut de bilans hydriques et des matières organiques complets, de mesure de l'érosion et la courte durée des expériences : en effet, il faut 30 à 50 ans pour un sol argileux et 12-15 ans pour qu'un sol sableux soit dégradé dans cette région (Boli, Roose, 1998).

Nous avons donc lancé une étude sur l'érosion des sols soumis à une culture intensive, avec ou sans labour, avec divers modes de gestion des matières organiques, pour prévenir la dégradation des sols et la baisse de productivité des terres nouvelles et pour restaurer la productivité des terres abandonnées.

Phénomène insidieux, la dégradation des sols ferrugineux sableux cultivés se traduit par une forte battance des pluies, un encroûtement généralisé de la surface du sol lorsqu'il n'est pas protégé par une litière ou une couverture vivante (Roose, 1981 ; Casenave et Valentin, 1989 ; Bep et al, 1996) et une plus grande susceptibilité au ruissellement et à l'érosion hydrique (Lal, 1983 ; Boli, 1996). Sur le plan chimique, elle se traduit par une faible réponse des cultures aux engrais minéraux, résultant d'un déséquilibre des bilans des matières organiques et minérales (Roose, 1981), d'où un plafonnement suivi d'une baisse sensible des rendements agricoles (Mahop et Van Ranst, 1997). L'érosion hydrique en nappes et rigoles est un processus qui agit par le détachement des particules, le transport sélectif des matières organiques et des éléments texturaux fins (Roose, 1977 ; Wischmeier et Smith, 1978 ; Boli, 1996). La nature, l'origine, le devenir et l'ampleur des pertes d'éléments minéraux et organiques sur sols ferrugineux sableux cultivés ne sont pas encore clarifiées notamment dans la zone soudanienne du Cameroun.

Ciment qui lie les particules entre elles, la matière organique, constitue l'élément stabilisateur de la structure du sol et détermine en grande partie le potentiel de fertilité chimique des sols sableux (CEC MO. = 250 meq/100 g) (de Boissezon, 1973 ; Bep, 1989). Nous aborderons dans ce document la quantification des pertes de carbone organique par érosion hydrique (POC) et par drainage (DOC) et le suivi temporel du stock de C dans l'horizon travaillé du sol (SOC) : c'est une étape incontournable pour l'étude du développement des systèmes culturaux durables et productifs en zone cotonnière. Ce travail a été réalisé sur le dispositif des parcelles d'érosion à Mbissiri en 1995 sur coton. Après 4 années d'une rotation intensive coton-maïs, les effets des principaux facteurs tels que l'âge du défrichement de la parcelle, l'apport de biomasse et le travail du sol sur l'érosion et les pertes de carbone ont été évalués sur neuf parcelles d'érosion et six lysimètres de sol reconstitué.

2. Matériels et méthodes

2.1. Le site expérimental

L'étude a été conduite sur le dispositif des parcelles d'érosion de Mbissiri (lat. : 8° 23' N ; longitude : 14° 33' Est ; altitude 380m), petit village de la zone soudanienne du Nord Cameroun à 40 km de Tcholliré, sur la route de Touboro et à 250 km au SE de Garoua (fig.1). Le climat est de type soudanien avec 1000 à 1500 mm de pluie tombant en 7 mois d'avril à octobre (fig 2.). Chaque année on observe une pluie de 75 mm en 24 h et tous les dix ans 120 mm en quelques heures.

Le paysage est dominé par une butte témoin cuirassée de 30 m de dénivelée, développée au piémont sud des monts Koum. Ce plateau résiduel est relié au Mayo Rey par un long glacis de 5 km à pente inférieure à 3%, légèrement concave. La couverture pédologique (fig.3) développée sur l'altérite d'un grès ferrugineux est constitué de sols

Daniella Oliveri

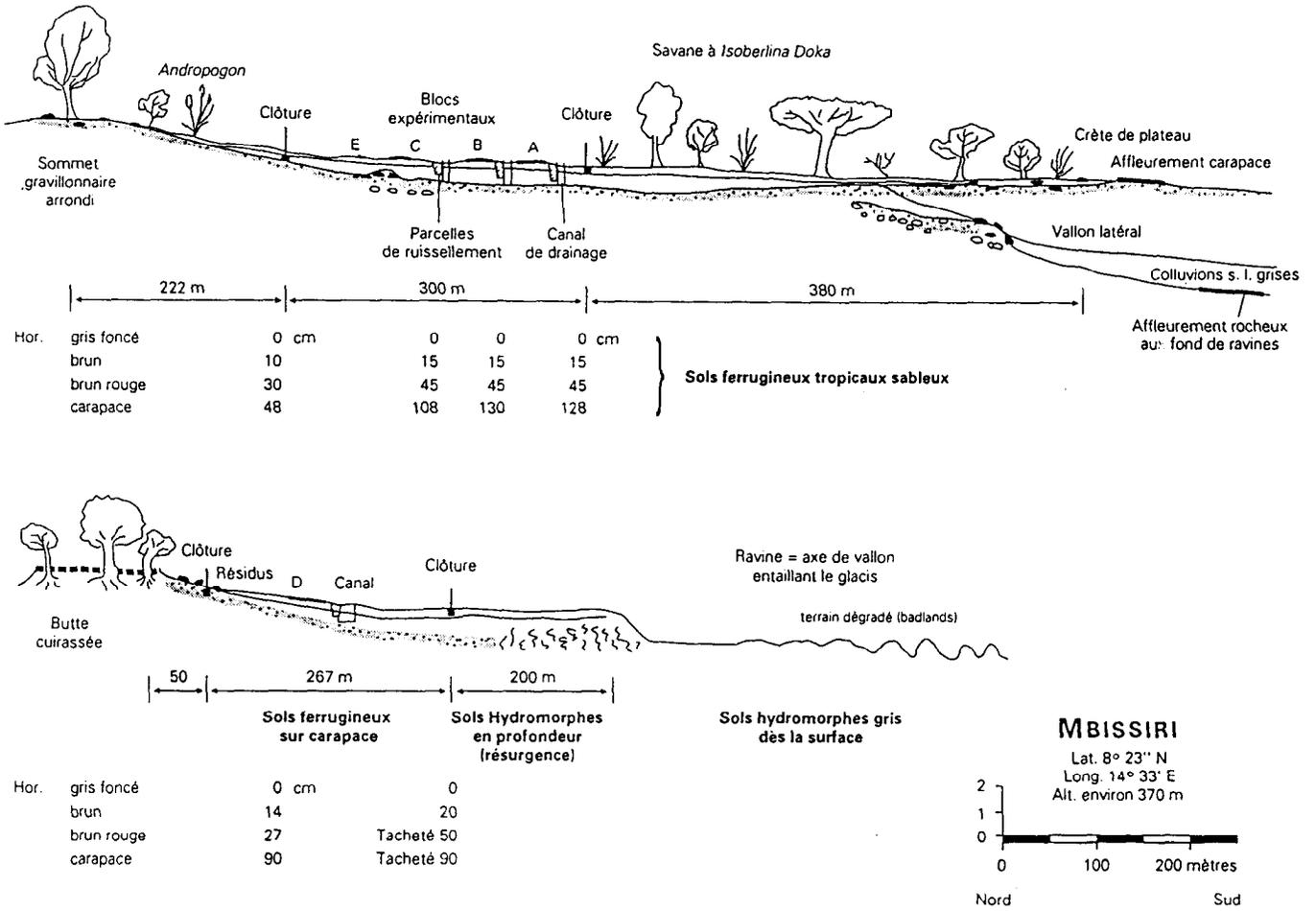


FIG. 3. — Toposequences de Mbissiri (Nord-Cameroun).
 Toposequences at Mbissiri (Northern Cameroon).

ferrugineux tropicaux indurés, peu lessivés, très sableux (<7% d'argile kaolinitique). L'épaisseur du sol meuble au-dessus de la carapace ferrugineuse augmente de quelques cm au sommet de la butte à 130 cm au centre de la concavité. Ce sol est pauvre en matières organiques (SOM < 1% sous savane brûlée et pâturée, C/N de 12 à 15 traduisant une minéralisation moyenne), légèrement acide (6,2 à 6,6), à faible capacité d'échange de cations (2 à 3,3 méq/100 gr) et carencé en phosphore assimilable. Dans les champs cultivés dégradés le taux de Carbone organique du sol décroît jusqu'à 0,20 % et le C/N à <10 : apparaît alors une carence marquée en azote (Brabant et Gavaud, 1985).

2.2. Le dispositif

Le dispositif complet comprend 6 lysimètres reconstitués et 57 parcelles d'érosion qui se répartissent dans 3 situations (Boli et al, 1993) :

* **un bloc dégradé (D)** issu de plus de 30 années de cultures intensives coton/céréales. Ce bloc était abandonné à la jachère herbacée en 1990, au début de l'installation de 16 parcelles d'érosion. La pente est de 2,5 % à l'endroit des parcelles.

* **une nouvelle défriche (N)** : cette parcelle est une jachère vieille de 30 années qui ressemble à une savane arbustive soudanienne que nous avons défrichée manuellement en 1990 : sa pente varie de 1 à 1,5 %.

Le dispositif comprend deux groupes de 16 parcelles d'érosion de 100 m² et un groupe de 6 parcelles de 1060m². En outre six lysimètres de sol reconstitué soigneusement par couches de 10 cm jusqu'à 80 cm dans des fûts de 63 cm de diamètre et 90 cm de profondeur. Une vanne de fond permet de récupérer le drainage qui s'écoule progressivement durant trois jours suivant une grosse averse. Ces lysimètres ont subi deux cycles coton/maïs fertilisés avec ou sans labour avant que l'on procède à l'analyse des eaux drainées.

* **une savane naturelle (SAV)** : dont une parcelle a été mise en défens, l'autre brûlée un mois après la dernière pluie importante et la troisième brûlée et pâturée chaque année, selon la coutume locale.

Pour cette étude en 1995, on a choisi trois parcelles dans chaque bloc, soit 6 parcelles cultivées et 3 parcelles sous savane, et six lysimètres.

Les parcelles d'érosion utilisées dans cet essai sont standard de 100 m² (20 m x 5 m) et de pentes variant de 1 à 2,5%. Elles sont isolées par des tôles en aluminium enfoncées de 15 cm dans le sol et dépassant de 10 cm au-dessus de la surface du sol. En bas de pente, elles sont clôturées par un canal de sédimentation qui permet d'isoler les terres de fond, et par deux cuves de béton pour stocker les eaux ruisselées. Un dispositif de partition est associé à chaque parcelle qui permet d'estimer une lame ruisselée atteignant 50 mm.

Sur le terrain, les terres de fond sont pesées humides (à 50 g près) dans un volume constant (seau de 10 litres), ce qui permet d'évaluer directement le poids sec sans passer par l'étuve grâce à un tarage préliminaire (Boli, 1996). Les suspensions (MES) sont prélevées dans la seconde cuve, après agitation, au cours de la vidange de la cuve par une vanne : les MES sont flocculées dans un fût de 200 litres à l'aide de sulfate d'alumine (1cc de solution à 50g/l Al₂(SO₃) par litre de ruissellement). Après séchage à l'air et à l'étuve ventilée pendant 2 jours, les particules fines sont pesées au g près (Turbidité en g/l et MES en kg/ha). Le volume ruisselé est évalué à partir des hauteurs d'eau dans les cuves (moins la hauteur de pluie) selon des barèmes de tarage établis pour chaque cuve.

Lors des principales averses, on ramène au laboratoire quatre échantillons pour analyses : la terre de fond (TDF), les suspensions (MES) et l'eau de ruissellement (RU) après floculation et l'eau de drainage (DR). Les échantillons d'eau sont stockés, bien bouchés dans des flacons de plastic de 250 cc, à l'abri de la lumière. Les échantillons ont été finalement

rassemblés en trois périodes : du labour au sarclage (30ème jour), du sarclage au buttage (60^{ème} jour), du buttage à la récolte (5ème mois). Les analyses chimiques ont été réalisées à Montpellier au labo Cirad pour le carbone particulaire (CHN) et au labo IRD pour le carbone soluble

2.3. Les traitements

L'évaluation des pertes d'éléments fertilisants se passe en cinquième année (1995) après deux cycles coton/maïs sur trois groupes de traitements (L T K)

* L : le traitement labour conventionnel est le témoin de l'itinéraire technique généralement appliqué dans cette zone : il comprend l'épandage d'engrais, le labour mécanisé au tracteur ou aux bœufs , le semis (2 graines tous les 25 cm sur des lignes distantes de 80 cm), un premier sarclage à 30 jours, et un sarclo-buttage vers 8 semaines avec enfouissement d'urée, la récolte et l'exportation du coton- graines et des tiges à 5 mois pour le coton;

* LF : une variante qui consiste outre les travaux précédents à épandre 3 t /ha/an de fumier de chèvre (à 3% d'azote) avant le labour;

* SD/L : semis direct sous litière après défrichage chimique ou manuel : sans déranger la litière, ouverture des lignes de plantation avec une dent tractée ou un piochage à 15 cm dénudant une bande de 15 cm de largeur tous les 80 cm, semis direct des graines et des engrais sur ces lignes (houe double ou semoir spécial), un sarclage chimique ou manuel et récolte sans exporter les résidus de culture. Dans le bloc dégradé, certaines parcelles sont restées deux ans en jachère naturelle herbeuse ou en jachère améliorée de *Calopogonium muconoides* qui couvre totalement le sol et l'enrichit en SOM.

Les engrais minéraux sont des engrais granulés complexes préconisés par la Sodecoton et sont appliqués à la même dose le même jour sur chacune des parcelles (N30-P40-K30-S12-B2 et 50 kg/ha d'urée).

L'itinéraire technique et l'âge du défrichage sont les principaux facteurs pris en compte pour déterminer les pertes de carbone sur ces parcelles d'érosion.

3. RESULTATS

3.1. Le ruissellement et l'érosion en 1995 (tableaux 3 et 2)

Le ruissellement est nettement plus élevé sur parcelles labourées que sur semis direct, quelque soit l'âge du défrichage. Par contre, l'apport de 3 t/ha de fumier (dose disponible localement) pendant 4 années a augmenté le ruissellement et l'érosion plutôt que d'améliorer l'infiltration et la résistance à la battance des pluies, comme on pouvait l'espérer..

Les pertes en particules fines en suspension, susceptibles de circuler jusqu'à la rivière, sont aussi plus élevées sur labour (MES de 2.5 à 6.3 t/ha/an) que sur semis direct (0.7 à 0.25 t/ha/an). Lors du labour les pertes en particules fines sont plus élevées sur le bloc dégradé que sur la jeune défriche.

Le même comportement se répète pour les terres de fond en fonction des traitements, mais le bloc dégradé, plus pentu, perd plus de sédiments grossiers (sables) sur labour que le bloc jeune : sur la pente de 1% une forte proportion de ces sables sont piégés en bas de pente, sur les rugosité (anciens nids de termites) ou sur des portions de versants mieux couvertes par les adventices.

Si on compare le comportement des parcelles au cours de la saison des pluies on constate que le ruissellement augmente jusqu'au billonnage, puis diminue à mesure que le couvert végétal se développe. Par contre, en général, les pertes en sédiments fins ou grossiers diminuent dès le début de la saison avec la croissance du couvert de la culture. Un comportement semblable a été observé à Séfa, en Casamance, sur des sols ferrugineux lessivés cultivés en maïs, coton et riz (Roose, 1967).

Tableau 2: Evolution de l'érosion et du ruissellement en fonction des techniques culturales dans le Bloc B

ITK	Dates	VR m3/ha	MES T/ha	TDF T/ha
LC	S	10	1,65	3,1
	B	13,2	0,74	2,5
	R	1,7	0,1	0,6
	T	23,9	2,5	6,2
LCF	S	11,3	1,82	5,54
	B	20,3	1,22	3
	R	1,7	0,1	0,6
	T	33,3	3,04	9,14
ZT	S	3,9	0,5	2,2
	B	9,9	0,2	2,8
	R	0,5	0,009	0,3
	T	14,3	0,71	5,3

Tableau 3: Evolution de l'érosion et du ruissellement en fonction des techniques culturales dans le Bloc D

ITK	Dates	VR m3/ha	MES T/ha	TDF T/ha
LC	S	12,2	4	12,6
	B	14,1	2,03	18,02
	R	3,6	0,26	3,52
	T	29,9	6,3	34,11
LCF	S	11	2,6	5,04
	B	17,2	2,06	3,32
	R	3,5	0,43	1,7
	T	31,7	5,1	10,1
ZT	S	1	0,16	0,7
	B	2,3	0,03	1,2
	R	0,5	0,09	0,2
	T	3,8	0,25	2,1

Tableau 4: Evolution des pertes de carbone en fonction des techniques culturales (Bloc B)

ITK	Dates	TCO	MES	TDF	RUI	DR
LC	S	56,81	43,7	7,5	2,11	3,5
	B	44,83	18,5	15	9,3	2
	R	31,42	21,2	3,4	4,32	2,5
	T	133,06	83,4	25,9	15,76	8
LCF	S	75,3	51	17,8	3	3,5
	B	61,2	25,4	12,5	21,3	2
	R	11,33	2,5	2,2	4,13	2,5
	T	147,83	78,9	32,5	28,43	8
ZT	S	34,42	25,5	5,8	1,92	1,2
	B	24,94	5,4	18,1	0	1,44
	R	4,28	0,26	1,8	1,2	1,02
	T	63,64	31,16	25,7	3,12	3,66

Tableau 5: Evolution des pertes de carbone en fonction des techniques culturales (Bloc D)

ITK	Dates	TCO	MES	TDF	RUI	DR
LC	S	75	47,8	23,5	0,2	3,5
	B	74,5	21,8	50,5	0,2	2
	R	18,6	5,3	10,6	0,2	2,5
	T	168,1	74,9	84,6	0,6	8
LCF	S	46,5	33,5	9,3	0,2	3,5
	B	48,26	24,2	9,4	12,66	2
	R	18,84	4	4,8	7,54	2,5
	T	113,6	61,7	23,5	20,4	8
ZT	S	9,16	4,8	1,8	1,36	1,2
	B	6,24	1,8	3	0	1,44
	R	8,65	0,4	0,6	6,63	1,02
	T	24,05	7	5,4	7,99	3,66

Tableau 6: Répartition du CO perdu par érosion hydrique dans le bloc B, en % de TCO)

ITK	Dates	TCO	MES	TDF	RUI	DR
LC	S	56,81	77	13	3,7	6,2
	B	44,83	41	33	20,8	4,5
	R	31,42	67	11	13,7	8
	T	133,06	63	19	12	6
LCF	S	75,3	68	24	4	4,6
	B	61,2	42	20,4	34,8	3,3
	R	11,33	22	19,4	36,5	22,1
	T	147,83	53	22	19	5
ZT	S	34,42	74	16,9	5,6	3,5
	B	24,94	22	72,6	0	5,8
	R	4,28	6	42	28	23,8
	T	63,64	49	40	5	6

Tableau 7: Répartition du CO perdu en érosion hydrique dans le bloc D, (en % de TCO)

ITK	Dates	TCO	MES	TDF	RUI	DR
LC	S	75	47,8	31,3	0,3	4,7
	B	74,5	21,8	67,8	0,3	2,7
	R	18,6	5,3	57	1,1	13,4
	T	168,1	44,6	50	0,4	5
LCF	S	46,5	72	20	0,4	7,5
	B	48,26	50,1	19,5	26,2	4,1
	R	18,84	21,2	25,5	40	13,3
	T	113,6	34	41	18	7
ZT	S	9,16	52,4	19,7	14,8	13,1
	B	6,24	28,8	48,1	0	23,1
	R	8,65	4,6	6,9	76,6	11,8
	T	24,05	29	22	33	15

Au total , l'érosion en nappe varie beaucoup en fonction de la pente, du couvert végétal, du labour, du billonnage et de la fumure : de 2,3 à 6 t/ha/an sur semis direct de coton, ce qui est encore beaucoup pour de si faibles pentes, de 8 à 12 t/ha/an sur labour sur le bloc jeune de 1.5% de pente , et de 15 à 40 t/ha sur le bloc dégradé de 2.5% de pente....Ce sol sableux, soumis à la culture intensive du coton et du maïs avec exportation des résidus, se dégrade donc rapidement par érosion, en particulier suite aux pertes de suspensions (MES =3 à 6t/ha/an) très riches en carbone . On note ici l'intérêt de séparer les sédiments grossiers des sédiments en suspension pour expliquer les différence d'érosion en nappe sur des versants de faible différence de pente .

3.2. Les pertes en carbone (tableaux 5 et 4)

Les pertes en carbone total (TCO) sont nettement supérieures sur labour (TCO= 113 à 168 kg/ha) que sur semis direct (63 et 24 kg/ha), quelque soit l'âge du bloc. L'enfouissement annuel de 3 tonnes de fumier (c'est-à-dire moins de 1 t/ha de carbone), n'a pas augmenté systématiquement les pertes en carbone : les pertes ont diminué sur bloc dégradé, mais ont augmenté sur jeune défriche, dont l'horizon superficiel est plus riche en humus. En fonction de la saison, les pertes en carbone particulaire (POC) liées aux MES ont tendance à diminuer avec la croissance des cultures, tandis que les pertes en POC liées aux terres de fond augmentent systématiquement lors du buttage. Les pertes en carbone dissout (DOC) varient de façon peu nette avec les volumes ruisselés ou drainés et les saisons, mais elles sont plus faibles sur parcelles non labourées. On aurait pu croire que sous litière le ruissellement serait plus faible mais les teneurs en carbone beaucoup plus élevées et qu'en final les pertes en carbone soluble seraient plus élevées là où serait apporté plus de biomasse : ce qui est vrai pour le fumier de chèvre ne l'est pas pour la litière de résidus de cultures et adventices.

Donc globalement la biomasse étalée à la surface du sol, non seulement réduit les risques de ruissellement et d'érosion, mais aussi limite les pertes de carbone par érosion et drainage .

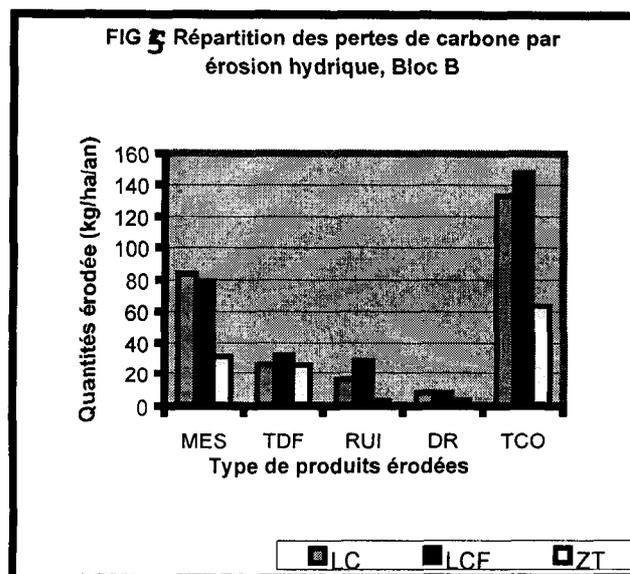
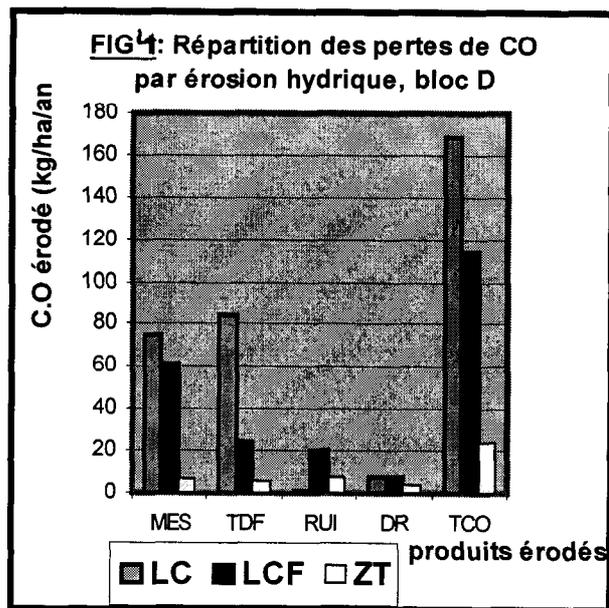
3.3. L'importance relative des pertes solides (POC) et solubles (DOC) (tableaux 7 et 6).

Globalement les pertes solides par érosion (POC =75 à 95% du total) sont nettement plus importantes que les pertes en solution (DOC = 25 à 5%). Les pertes en carbone dans les suspensions (MES) sont plus importantes dans les parcelles labourées et pendant les deux premiers mois que sous litière ou sous la canopée des cultures: la dégradation serait donc liée à la destruction des agrégats par la battance des pluies sur les sols nus après semis et buttage, plutôt qu'au lavage de la litière en décomposition qui protège la surface du sol non labouré. L'enfouissement de carbone (fumier) est donc beaucoup moins efficace que la couverture végétale vivante ou morte de la surface du sol pour réduire l'érosion et les pertes de carbone par érosion. Les pertes en carbone sont généralement plus importantes dans les MES que dans les terres de fond (sables essentiellement).

Les pertes de carbone par drainage sont faibles et stables (5 à 7%), mais la part du ruissellement varie beaucoup (0.4 à 33 %) sans qu'on puisse trouver de relation logique avec les itinéraires techniques.

Sur le bloc dégradé, les pertes de carbone par MES sont plus faibles que dans la terre de fond (plus abondante), car les teneurs en carbone de l'horizon superficiel sont plus faibles (SOC = 0.2 -0.3 % sur vieille défriche, au lieu de 0.3 à 0.7 % sur jeune défriche). La perte sélective de particules fines semble donc diminuer une fois l'horizon superficiel appauvri.

Après cinq années consécutives de culture, on constate que le sol sous semis direct est moins susceptible au ruissellement et à l'érosion que sous labour, même si le niveau de



rendement agricole est resté bas : d'où l'importance d'une couverture organique (*Calopogonium mcunoides*) qui assure à la fois la protection du sol et la production de biomasse et de litières, source de matières organiques.

Un sol dont la surface est directement protégée par une litière ou une couverture organique morte résiste mieux à l'érosion et au ruissellement qu'un sol protégé par une canopée même si la couverture végétale vivante est de 100 % (Wischmeier et Smith, 1978) ; Roose, 1994).

3.4. Evolution des teneurs de carbone dans les suspensions

Dans l'ensemble des deux blocs, les teneurs en carbone dans les MES (C = 1.5 à 7%) issues des parcelles de semis direct sont plus élevées que les teneurs dans les suspensions provenant des parcelles labourées (C= 1 à 3 %).

Pendant la campagne, la teneur en C dans les MES provenant des parcelles non cultivées connaît une évolution croissante dans le bloc D, mais décroissante dans le bloc B, en fonction de l'évolution de la surface couverte par la litière et les adventices.

En revanche dans les parcelles labourées, on observe une certaine stabilité, malgré l'apport de fumier.

En dépit de quelques améliorations observées sur le rendement des cultures, la susceptibilité au ruissellement et à l'érosion reste élevée et le rôle du fumier comme source de carbone, ciment des agrégats, n'a pas été mis en évidence.

3.5. Evolution des teneurs de carbone dans les terres de fond (TDF)

Les teneurs en carbone dans les sédiments de fond sont dix fois plus faibles ($C_{TDF} = 0.2$ à 0.6 %) que dans les MES : elles sont très proches des teneurs en carbone des sols sous savanes naturelles de cette zone (Brabant et Gavaud, 1985). En outre, l'apport des matières organiques sous forme de fumier sur parcelles labourées n'a pas eu d'influence nette sur la teneur en Carbone dans les terres de fond : les fécès de chèvre en voie de décomposition, ont pu être enfouies trop profondément par le labour ou disparaître par flottaison (hors MES et Tdf).

Dans le bloc B, la teneur en C des terres de fond triple après le buttage (C= 0.6%) pour les parcelles labourées (LC) et semis direct (ZT). En ce qui concerne les traitements fumiers, l'évolution est moins nette et la teneur en fin de campagne est plus faible (C = 0.3 %).

3.6. La minéralisation de la matière organique érodée. (C/N)

Dans les terres de fond, le rapport C/N est relativement faible (7 à 11) que le sol en place (C/N= 12-15) quelque soit l'âge de la défriche. En effet ces sédiments sont constitués essentiellement de sables délavés pauvres en C.

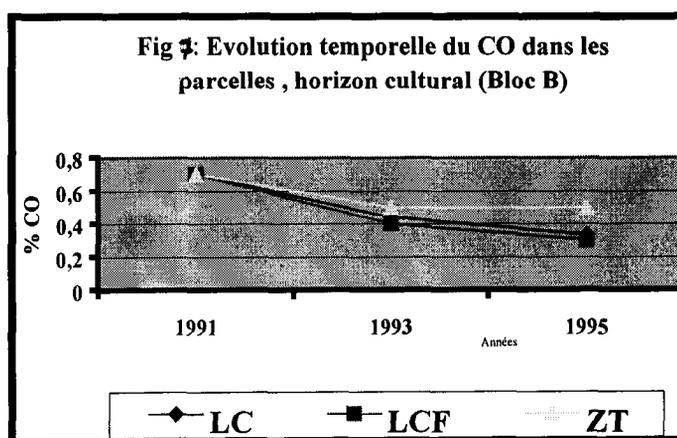
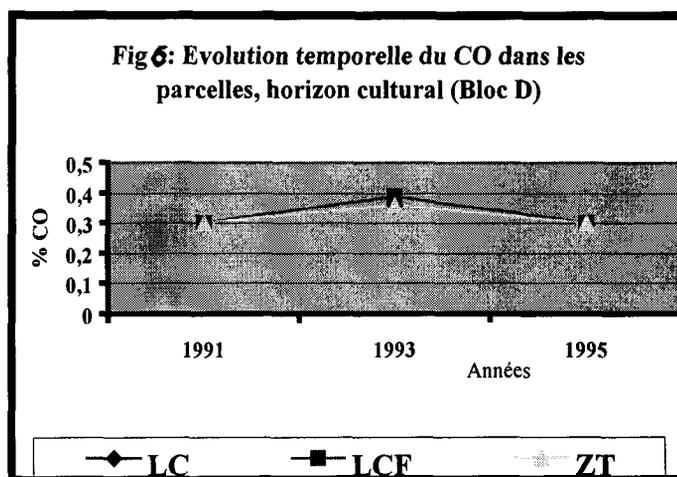
Dans les MES, on n'observe pas de différence nette entre les parcelles labourées ou en semis direct sur la jeune défriche. Par contre, sur le sol dégradé, le C/N des MES = 7 à 8 sur labour et 12 sur le semis direct, ce qui traduirait le niveau d'activité biologique de la surface du sol. Rappelons que dans les savanes pâturées et brûlées de la zone le C/N serait voisin de 15 à 18 (Brabant et Gavaud, 1985). Le labour entrainerait donc une accélération de la minéralisation des matières organiques de l'horizon aéré.

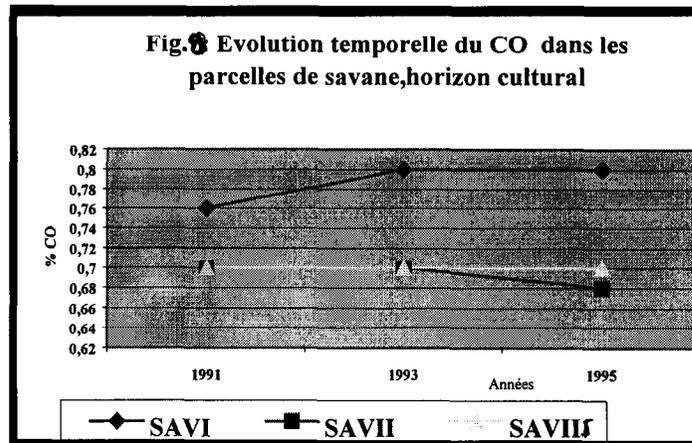
3.7. Influence de l'utilisation des terres sur la teneur en carbone de l'horizon 0-10 cm du sol en 5 ans

L'évolution de 1990 à 1995 des teneurs en carbone des échantillons composites (12 prises au tube sur les diagonales) est reportée dans les figures 6 et 7 pour les champs cultivés et en figure 8 pour la jachère mise en défens, brûlée ou pâturées chaque année.

Sur la vieille défriche, le taux de carbone a peu varié autour de $C = 0.3\%$, quelque soit le traitement. Par contre sur la jeune défriche, la mise en culture a entraîné une baisse rapide du taux de carbone stabilisé autour de 0.3% sous labour et 0.4% sous semis direct. L'enfouissement de fumier par le labour n'a pas modifié la teneur en carbone du sol, malgré son effet sur les rendements (apport de 30 unités d'azote et de bases). Des recherches effectuées sur plusieurs stations du Nord Cameroun ont montré qu'au bout de 4 à 5 années consécutives de culture, le semis direct de coton donnait des rendements au moins égaux à ceux observés sur les parcelles labourées voisines (Vallée et al, 1994).

Le brûlis et le surpâturage annuel des jachères arbustives ont une influence négative sur l'évolution de la teneur en carbone du sol : seule la mise en défens l'améliore très légèrement.





4. DISCUSSION

4.1. Influence du semis direct et du labour sur la teneur en carbone du sol

Les observations après cette 5^{ème} année de culture confirment les résultats des années précédentes (Boli et al., 1993 ; Boli, 1996 ; Roose et Barthès, 2002) à savoir que sur ces sols très sableux, il est difficile d'accumuler beaucoup de C dans le sol malgré 30 années de jachère dont 5 années de mise en défens complète ou 5 années de semis direct sous litière. (Charreau et Nicou, 1971 ; Feller, Beare, 1997). Traditionnellement, ces savanes arbustives (ou vieilles jachères) sont brûlées annuellement pour maîtriser l'invasion par les arbustes et maintenir un taux de graminées apprécié suffisant pour assurer le parcours des bovins et des chèvres venant s'y réfugier en saison sèche (éleveurs Peuls migrant depuis le Sahel) : il s'en suit une diminution de la litière disponible et une baisse des teneurs en MO de l'horizon superficiel (C = 0.8 à 0.68 %).

Le défrichage de ces savanes et la culture entraînent une baisse très rapide du taux de carbone, de 50% en 4 ans. Mais le labour a une action plus rapide (C = 0.3%) et plus dégradante que le semis direct (C = 0.4%) (Roose, Barthès, 2001). Cependant, au bout de 5 années de culture intensive avec fertilisation minérale, la différence de teneur en carbone de la couche superficielle du sol est peu importante entre traitements.

Sur le bloc dégradé par trente années de culture continue, le taux de carbone a peu évolué (entre 0.3 et 0.4%), malgré l'apport annuel des résidus de culture et de 3 t/ha de fumier de chèvre et l'augmentation des rendements observés après apport de nutriments organiques ou minéraux. Par contre, sur une bande d'arrêt couverte d'herbes (*Andropogon sp.*) et d'arbustes taillés (*Cassia siamea*), le taux de carbone du sol a retrouvé le niveau initial de la savane en trois ans (C = 0,7%). (Harmand et al., 1998)

La restauration de la fertilité du sol passe donc par une phase de « jachère intensive et arbustive » apportant une biomasse importante en surface permettant de réduire considérablement les pertes de carbone par érosion (Harmand, 1998). Le semis direct sous litière de résidus de culture parvient au mieux à ralentir la minéralisation de carbone du sol, par rapport au labour. L'introduction de légumineuses (*Stylosanthes hamata*, *Calopogonium mucunoides*, *Macroptilium atropurpureum*) en culture dérobée sous maïs, améliore le taux de carbone, mais réduit souvent les rendements des céréales de 10 à 30 %, ce qui est mal accepté par les paysans (Klein, 1994).

4.2. Influence du système de culture sur le ruissellement et l'érosion

Que ce soit sur les sols ferrugineux sableux du Nord Cameroun (Boli, 1996 ; Vallée et al., 1994) ou sur les sols limono-argileux ou sablo-argileux du Sud Mali (Diallo 2000, 2004),

le semis direct entraîne moins de ruissellement et d'érosion que le labour pour des rotations intensives de coton-maïs, en zone soudanienne (Roose, Barthès, 2001). Lal avait trouvé des résultats semblables sur un sol ferrallitique du centre Nigéria (Lal, 1983) et Blancaneaux et al, (1993) au Brésil central.

En principe, le labour améliore temporairement la porosité et la capacité d'infiltration du sol (Charreau, Nicou, 1971; Kalms, 1975; Roose, 1977; Nicou, Poulain, 1982). Cependant cette influence positive du labour sur la porosité de l'horizon travaillé est d'autant plus réduite dans le temps que le sol de surface est sableux, instable et soumis à la battance des pluies. Il s'en suit la formation de pellicules de battance et de croûtes de sédimentation et d'érosion qui réduisent considérablement la capacité d'infiltration (F_n) des sols dénudés : F_n passe de >100 mm/h après labour à moins de 10 mm/h après quelques averses (Casenave et Valentin, 1994; Roose, 1981 et 1994). A Mbissiri, la formation des pellicules de battance et le transport des particules fines de surface (et du carbone) commence après 30 mm de pluie orageuse sur le bloc dégradé par 30 ans de culture et 120 mm sur la jeune défriche; cependant après 4 années de culture la différence est moins évidente (Boli et Roose, 1998). Une simple litière de résidus de culture et d'adventices herbicides absorbe l'énergie des gouttes de pluie et entraîne un fonctionnement très différent : maintien d'une surface humifère perméable et perforée par les vers de terre, termites et autres fourmis qui résistent mieux aux herbicides qu'au labour et au sarclage mécanique.

4.3. Influence du système de culture sur les pertes en Carbone par érosion et drainage

Les pertes de carbone par érosion sont nettement plus élevées sur parcelles labourées, avec ou sans fumier, que sur les parcelles en semis direct. En effet, malgré que les teneurs en carbone soient légèrement plus élevées dans les MES sous semis direct, le volume de terre érodée et de ruissellement sont largement plus importants sous labour. Le contact direct des gouttes de pluie avec les mottes du sol labouré ou butté accélère la formation de croûtes de battance et augmente les risques de ruissellement.

Les pertes de carbone soluble (DOC) par drainage sous culture de coton sont faibles (5 à 7% du total), mais un peu plus élevées sous litière car le volume drainé est plus fort suite à la réduction du ruissellement sous litière.

Au total les pertes en carbone par érosion et drainage augmentent de 45 kg/ha/an sous semis direct à 140 kg/ha/an sous labour conventionnel. Bien que ces valeurs soient largement inférieures aux stocks de carbone de l'horizon 0-10 cm concerné par le travail du sol, cela se marque sur l'évolution du stock de carbone du sol après cinq années.

	sous labour	sous litière
Soit la densité apparente =	1.4	1.5 (Boli, 1996)
1 mm de sol pèse	14t/ha	15t/ha
100 mm = 10 cm pèsent	1400 t/ha	1500t/ha
teneur en C du sol	0,3%	0.4%
stock en C sur 10 cm	4,2 t C/ha	6,0 t C/ha
Soit une différence de stock de 1,8 t C /ha/5 ans en faveur du semis direct		
Or les pertes de carbone total =	140 kg/ha/an	45 kg/ha/an
Soit en 5 ans	700 kg/ha/5ans	225 kg/ha/5ans

L'influence du système cultural a donc un impact non négligeable sur le carbone de la couche superficielle du sol suite à une réduction de l'érosion mais aussi à la concentration en surface des résidus de culture, des adventices (herbicidées ou non) et une forte activité biologique de la macrofaune (vers et termites) (Boli, 1996). Il est probable que dans les horizons plus

profonds, on observe une diminution du stock de carbone sous semis direct, à cause d'un plus faible développement du système racinaire dans les sols non labourés (Boli et al, 1993).

5. CONCLUSIONS

Dans la zone des savanes soudaniennes humides, l'agressivité des pluies est telle que les pertes en eaux, en terre et en nutriments sont importantes sur les systèmes culturaux intensifs conventionnels, même sur des pentes de 1 à 2,5% et des sols sableux très perméables en milieu naturel : il s'en suit une dégradation de la surface du sol sableux labouré, sarclé et butté et la perte de 140 kg/ha/an de carbone par érosion et drainage (5 à 7%). L'apport de 3 t/ha/an de fumier de chèvre n'y change rien, à part les rendements des cultures. Ces phénomènes d'érosion apparaissent rapidement après le défrichement de la savane, mais se développent encore avec l'âge de la défriche et la dégradation du sol. Les pertes en sol et en carbone augmentent beaucoup au moment du buttage : c'est donc la litière qui réduit le mieux les pertes par érosion, mais la canopée intervient plus tard durant la saison des pluies.

Par contre, le semis direct sous une litière de résidus des cultures et adventices herbicides a réduit considérablement le ruissellement, l'érosion et augmenté le stock d'eau du sol et les risques de drainage au cœur de la saison des pluies. Les pertes en MES et en carbone sont trois fois plus faibles (pertes en carbone = 45 kg/ha/an), bien que la canopée et les rendements des cultures ne soient pas toujours aussi forts que sur sol labouré. Bien que les teneurs en C du sol soient peu différentes (0.4 contre 0.3% dans l'horizon 0-10 cm), le stock de carbone de l'horizon 0-10cm passe en 5 ans de 4,2 à 6t de C/ha suite à une légère augmentation de la densité apparente sous semis direct. L'introduction du système de culture intensif par semis direct a donc réduit les risques d'érosion et ralenti la vitesse de dégradation de ces sols sableux très fragiles. Cependant le semis direct a du mal à séquestrer un peu de carbone dans ces sols sableux dans les tropiques humides, car si l'horizon de surface s'enrichit légèrement, il est probable que l'horizon sous-jacent, moins riche en racines, va s'appauvrir en carbone par rapport au sol original.

Le semis direct semble donc une technique culturale bien adaptée à l'agressivité des averses du début de saison des pluies. Cependant, il nécessite la réalisation d'un mulch de résidus de cultures, ou d'une jachère de légumineuses introduite en culture dérobée sous le maïs : mais les pratiques traditionnelles de vaine pâture et de feu de brousse réduisent l'espoir de préserver une litière couvrant suffisamment le sol en début de saison pluvieuse. En zone soudanienne où la saison des pluies couvre plus de 5 mois, il est possible de laisser les adventices atteindre 10 à 20 cm avant de les herbicider et de semer directement le coton sous cette litière morte. Ceci n'est plus possible si la saison des pluies est réduite à 4 mois

REFERENCES

- Bep à Ziem (B), Zahonero (P), Boli (B.Z.), Roose (E), 1995.** Evolution et influence des états de surface sur le ruissellement et l'érosion des sols ferrugineux tropicaux du Nord Cameroun sous rotation intensive coton/céréales. Bull. Réseau Erosion, ORSTOM , Montpellier, 16 : 59-77.
- Blancaneaux Ph., De Freitas P, Amabile R.F. et De Carvalho A., 1993.** Le semis direct comme pratique de conservation des sols des cerrados du Brésil central. Cah.Orstom Pédol., 28, 2 : 253-276.
- Boissezon P.de, 1973.** Les matières organiques des sols ferrallitiques. In "Les sols ferrallitiques" Collection IDT, ORSTOM édit, Vol. 1 : 9-66.
- Boli Z., Bep A Ziem B., Roose E.; 1991.** Enquête sur l'érosion en zone cotonnière du Nord Cameroun. Bull. Réseau Erosion, ORSTOM Montpellier, 11 : 127-138.
- Boli Z., Roose E., Bep A Ziem B, Sanon K, Waechter F. ; 1993.** Effets des techniques culturales sur le ruissellement, l'érosion et la production de coton /maïs sur un sol ferrugineux tropical sableux : recherches de systèmes intensifs et durables en région Soudanienne du Nord Cameroun (Mbissiri, 1991-1992). Cah. ORSTOM. Pédol., 28, 2 : 309-325.
- Boli Z., 1996.** Fonctionnement de sols sableux et optimisation des pratiques culturales en zone soudanienne humide du Nord Cameroun. Thèse doct. Univ. Dijon, France , Edit. Orstom Paris,série Thèses et doc microfichés, 344 p.
- Boli Z., Roose E., Bep A Ziem B., Kallo S., Waechter F., Zahonero P., Wahoung A., 1997.** Effets des pratiques culturales sur le ruissellement, l'érosion et la production de coton et de maïs sur sol ferrugineux sableux en zone soudanienne humide du Nord Cameroun.in *Seiny Boukar, JF. Poulain, G. Faure* « Agriculture des savanes du Nord Cameroun. » Atelier Garoua, 1996, Cirad-Ca, Montpellier, 528 p. : 255-272.
- Boli Z., Roose E ., 1998.** Degradation of a sandy Alfisol and restoration of its productivity under cotton-maize intensive cropping rotation in the wet savannah of Northern Cameroon. *Advances in Geocology* 31 : 395-401.
- Boli Z., Roose E., Zahonero P., 1998.** Effets et arrières effets des pratiques culturales sur le ruissellement, l'érosion et la production d'une rotation intensive (coton-maïs) sur un sol sableux des savanes humides du Nord Cameroun (Mbissiri, 1995). Bull. Réseau Erosion, 18 : 246-259.
- Boukar Lamine S. , 1991.** Régime hydrique et dégradation des sols dans le Nord-Cameroun. Thèse Doctorat 3^e cycle. UNIYAO I. Yaoundé /Cameroun, 120 p.?
- Brabant P.,Gavaud M, 1985.** Les sols et les ressources en terre du Nord Cameroun. ORSTOM Paris, Mesires-Ira Yaoundé, 285 p.
- Burnell R.E., Larson W.E., 1969.** Infiltration as influenced by tillage-induced roughness and pore space. *Soil. Sci. Soc.Amer. Proc.* 333 : 449-452.
- Casenave A., Valentin C., 1989.** Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration. Edit. Orstom Paris, 229 p.
- Charreau C., Nicou R., 1971.** L'amélioration du profil cultural dans les sols sableux de la zone tropicale sèche africaine et les incidences agronomiques. *Agron. Trop.* 26, 9: 903-978 et 26, 11 : 1183-1247.
- Feller C., Beare M.H., 1997.** Physical control of soil organic matter in the tropics. *Geoderma* 79 : 69-116.

- Harmand J.M., 1998.** Rôle des espèces ligneuses à croissance rapide dans le fonctionnement biogéochimique de la jachère. Effets sur la restauration de la fertilité des sols ferrugineux tropicaux. Bassin de la Bénoué , Nord Cameroun. Cirad, Montpellier France, Vol. 1 : 33-157.
- Harmand J.M., Njiti C.F., 1998.** Effets des jachères agroforestières sur les propriétés d'un sols ferrugineux et sur la production céréalière. Agriculture et Développement, Cirad, Montpellier France, 18 : 21-31.
- Kalms J.M., 1979.** Influence des techniques culturales sur l'érosion et le ruissellement en région centre Côte d'Ivoire. In «Soil conservation and management in the humid tropics. »Edited by Greenland & Lal, John Wiley : 195-2002.
- Klein H.D., 1994.** Introduction de légumineuses dans un système coton-céréales au Nord-Cameroun. Bull. Réseau Erosion, ORSTOM Montpellier, 14 : 393-398.
- Lal R., 1983.** No-till farming. Soil and water conservation and management in the humid tropics. Ibadan, IITA, Monograph 2 , 64 p.
- Mahop (F.), Van Ranst (E.), 1997:** Coût de l'épuisement du sol en zone cotonnière | Camerounaise: Impact sur l'environnement. Tropicultura 15, 4 : 203-208. AGCD/Bruxelles Belgique.
- Nicou R., Poulain J.F., 1982.** Les effets agronomiques du travail du sol en zone tropicale sèche. Machinisme Agricole Tropical, 37 : 32-54.
- Nicou R., Ouattara B., Some L., 1987.** Effets des techniques d'économie de l'eau à la parcelles sur les cultures céréalières au Burkina Faso. Doc. INERA, Ouagadougou, 77 p.
- Roose E., 1967.** Dix années de mesure de l'érosion et du ruissellement au Sénégal. Agron. Trop., 22, 2 : 123-152.
- Roose E., 1977.** Vingt années de mesure de l'érosion et du ruissellement en petites parcelles en Afrique. Orstom Paris, coll Travaux et doc. N°78, 108 p.
- Roose E., 1981.** Dynamique actuelle des sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique occidentale. Etude expérimentale des transferts hydrologiques et biologiques de matières sous végétation naturelles ou cultivées. Orstom Paris, coll. Travaux et documents, N° 130, 569 p.
- Roose E., 1994.** Introduction à la gestion conservatoire de l'eau et de la fertilité des sols.. Bull FAO des Sols, Rome n° 70 , 420 p.
- Roose E., Barthès B., 2001.** Organic matter management for soil conservation and productivity restoration in francophone Africa. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 61 : 159-170.
- Wischmeier W.D., Smith D.D., 1978.** Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. USDA Washington handbook n° 537, 58 p.