

**RACCOURCISSEMENT DU TEMPS DE JACHERE, BIODIVERSITE  
ET DEVELOPPEMENT DURABLE EN AFRIQUE CENTRALE  
(CAMEROUN) ET EN AFRIQUE DE L'OUEST (MALI, SENEGAL)**

Coordonnateur : C. Floret

**Rapport final**

**Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération  
ORSTOM, France (contractant principal)**

**Institut de Recherche Agronomique pour le Développement  
IRAD, Cameroun**

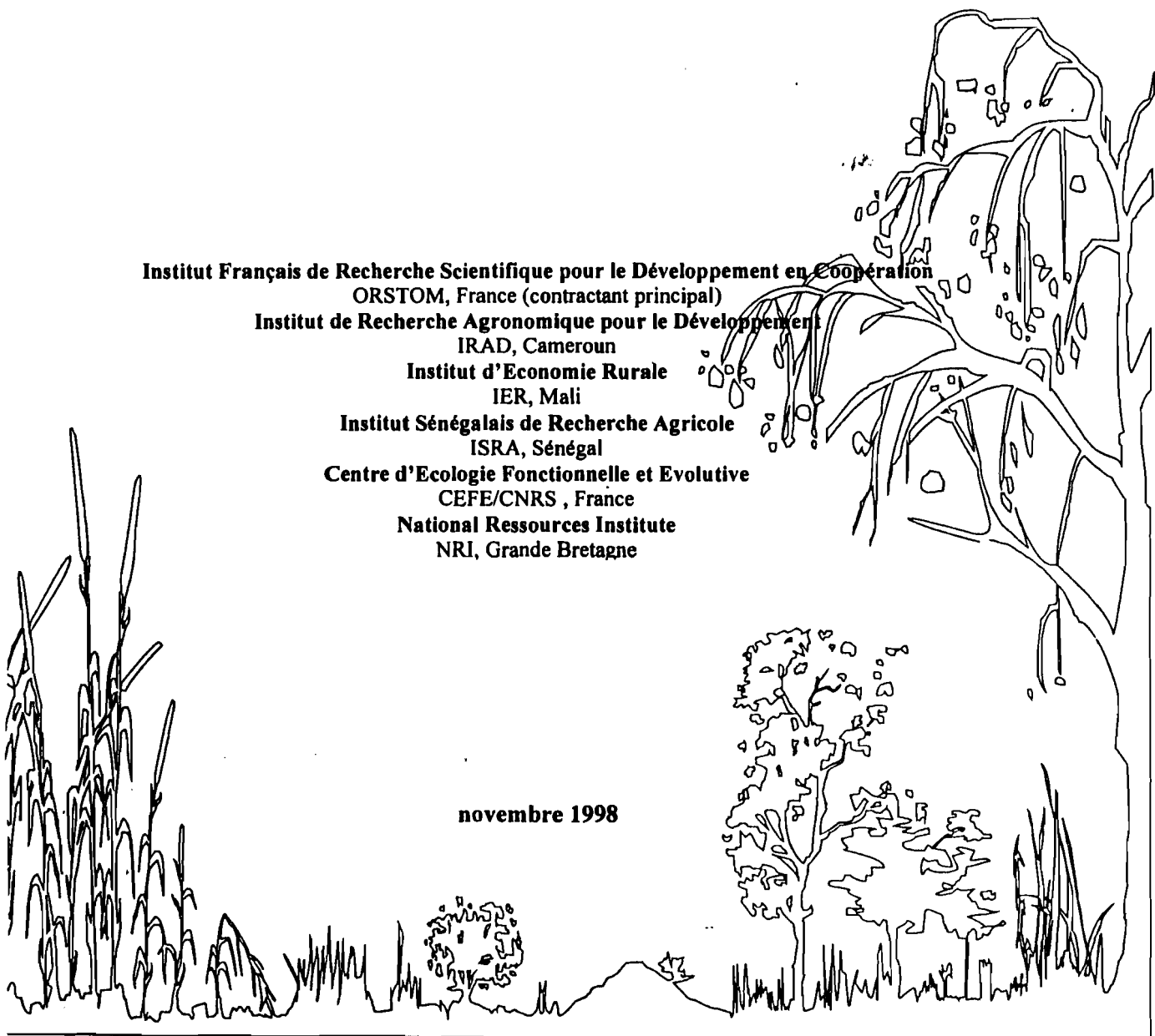
**Institut d'Economie Rurale  
IER, Mali**

**Institut Sénégalais de Recherche Agricole  
ISRA, Sénégal**

**Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive  
CEFE/CNRS, France**

**National Resources Institute  
NRI, Grande Bretagne**

novembre 1998



## 4.2 DYNAMIQUE DU CARBONE DANS LE CYCLE CULTURE-JACHERE EN AFRIQUE DE L'OUEST

Raphael MANLAY, Dominique MASSE

ORSTOM, BP 1386 - Dakar - Sénégal

### Introduction

Dans les savanes d'Afrique de l'Ouest, l'agriculture pluviale à faibles intrants, associée à un élevage extensif plus ou moins sédentarisé, est un des systèmes agraires les plus répandus (Ruthenberg, 1976). Le maintien de l'aptitude à produire du milieu, c'est à dire sa fertilité (Pieri, 1989), y repose sur deux grandes stratégies de gestion de la matière organique : d'une part l'application de la fumure animale, d'autre part la pratique de la jachère. Comme dans la majorité des systèmes à jachère (Mazoyer et Roudard, 1997), les deux stratégies concernent des espaces différents au sein du terroir. La fumure animale est appliquée aux champs permanents, dévolus aux cultures vivrières et ceinturant le village (ager), tandis que les rotations à jachère plus ou moins longue, impliquant des cultures de rente ou de céréales, concernent la périphérie du terroir ou saltus (Pélissier, 1966).

En Afrique de l'Ouest, l'existence de cette zone périphérique est progressivement remise en cause par le besoin croissant en terres cultivables (dynamisme démographique) ou certaines dispositions des lois foncières nationales. Là où la pratique traditionnelle maintenait des jachères longues d'une quinzaine d'années, ne se rencontrent plus que de jeunes friches, lorsqu'elles n'ont pas tout simplement disparu. L'amélioration de la jachère, ou sa substitution, est donc souhaitable, mais les solutions sont complexes. En effet, la pratique de la jachère en Afrique de l'Ouest trouve des justifications très diverses, tant sociales que techniques : maîtrise foncière, maintien de la fertilité du sol, rôle pastoral, approvisionnement en bois (Floret *et al.*, 1993). Toute proposition de modification de la pratique de la jachère doit tenir compte de ces fonctions et s'appuyer sur une compréhension du fonctionnement naturel de la jachère. L'idée que cette compréhension repose en grande partie sur les cycles de la matière organique est une hypothèse sous-tendant l'étude qui suit.

En effet, du point de vue agro-écologique qui nous intéresse ici, la jachère est assimilable à un processus de « nettoyage » (élimination de la flore adventice) (Jouve, 1993) mais aussi de reconstitution des stocks de matière organique et d'éléments minéraux de l'écosystème (Nye et Greenland, 1960). La matière organique est une richesse directement valorisable par le paysan (récolte et résidus de culture, bois, fourrages naturels ...) mais pas seulement. Elle est également un moyen de production, car c'est du retour et de la réincorporation au sol de la matière organique que dépend le statut organique du sol, et donc l'aptitude à produire de l'écosystème. En effet, dans les sols ferrugineux tropicaux lessivés sableux à argile de type kaolinite de l'Afrique subsaharienne, les caractéristiques chimiques (capacité d'échange cationique ou CEC) et physiques (porosité, stabilité) dépendent largement du taux de matière organique du sol (MOS) (de Ridder et van Keulen, 1990 ; Feller, 1995 ; Asadu *et al.*, 1997). Cependant, la texture sableuse de ces sols limite fortement la capacité de stockage humique (Feller et Beare, 1997). La disponibilité en éléments minéraux dépend donc surtout des fractions organiques labiles (litière, exsudats racinaires ...) alimentées par la production végétale. Enfin, la matière organique sert de substrat énergétique à la microflore du sol et conditionne donc sa fertilité biologique (Herrick et Wander, 1998).

En pratique, lors de la défriche de la jachère, la majeure partie de la biomasse aérienne accumulée est soit exportée (bois), soit brûlée sur place. Seuls les systèmes racinaires sont épargnés (Floret *et al.*, 1993). La défriche se fait traditionnellement sans dessouchage, qui est très exigeant en travail. Avec ce mode de défrichement, les systèmes racinaires ligneux se maintiennent durant plusieurs années à partir des souches, qui rejettent après chaque récolte. Dans ces conditions, il est évidemment très difficile de quantifier la dynamique des systèmes racinaires ligneux hérités de la jachère. En raison de la mécanisation des travaux agricoles (labour notamment), le dessouchage est de plus en plus fréquent. Faute de pouvoir se reconstituer depuis les souches, la biomasse racinaire est alors condamnée à une décomposition sans doute rapide mais dont la cinétique n'a jamais été appréhendée à notre connaissance en milieu tropical.

L'évolution des stocks organiques au cours du cycle culture-jachère n'a fait l'objet que de peu d'études en Afrique de l'Ouest. et, exceptée la synthèse de Tiessen *et al.*, (1998), concerne plutôt les climats humides (Nye et Greenland, 1960 ; Kottosame *et al.*, 1997). Il est ici proposé l'étude de la dynamique de la biomasse aérienne et souterraine et du carbone du sol suivant une approche synchrone (Sanchez, 1987) : différentes parcelles de cultures et de jachères d'âge variable, partageant des substrats pédologiques et un historique cultural équivalents, sont considérées comme les représentantes du même écosystème à différents stades du cycle culture-jachère. Nous proposons également les résultats d'une démarche en mode diachroné, qui a consisté à suivre durant deux ans la décomposition de sachets de racine de ligneux in situ, afin de simuler l'évolution des systèmes racinaires ligneux dans une culture après défrichage et dessouchage.

## Matériel et méthode

### Présentation du site

L'étude a été menée de 1993 à 1997 dans la région de Kolda au Sénégal (12°49'N – 14°53'O), sur le terroir de Sare Yorobana, situé en climat de type soudanien, tropical sec à saisons contrastées. La pluviométrie annuelle moyenne varie de 570 à 1370 mm (moyenne : 960 mm) et les pluies s'étendent de mai à octobre. La température est de 28°C et l'évaporation Piche de 1800 mm (Service de la Météorologie Nationale, station de Kolda, période de 1978 à 1997). Le relief peu accusé permet de distinguer trois grandes unités agro-pédologiques (Baldensperger *et al.*, 1967 ; Anonyme, 1991) : bas fond à sol hydromorphe moyennement humifère, constitué d'une palmeraie et d'une rizière ; glacis à sol rouge à jaune sableux, sur lequel est en général installé le village et les cultures permanentes ; plateau à sol ferrugineux lessivé occupé par les forêts claires, les jachères et les cultures de brousse. Les vastes surfaces encore boisées du plateau donnent au paysage les apparences d'un front pionnier. L'ethnie dominante, Peul, pratique une agriculture diversifiée (céréales sèches et inondées, arachide) étroitement associée à un élevage extensif sédentaire.

### Bilans de carbone

Les parcelles étudiées sont toutes situées sur plateau, à l'exception de deux cultures d'arachide placées sur haut de glacis. Les plans d'échantillonnage ont différé suivant l'hétérogénéité des variables et le travail nécessaire pour les mesurer. Toutes les mesures ont été faites en fin de saison des pluies, lorsque le stock de biomasse aérienne est maximal.

### Biomasse ligneuse aérienne

La biomasse ligneuse a été estimée sur 19 jachères âgées de 1 à 25 ans. Dans chaque parcelle un inventaire dendrométrique a été réalisé sur trois placeaux de 900 m<sup>2</sup> chacun. Des tarifs de biomasse, élaborés pour 4 espèces (*Combretum geitonophyllum* Diels, *Combretum glutinosum* Perr., *Piliostigma thoningii* Miln.-Redh. et *Terminalia macroptera* G. et Perr.), ont été définis en mesurant le diamètre basal, le diamètre à 130 cm et la biomasse sur une vingtaine d'individus. Ces tarifs ont permis d'accéder à la biomasse sèche ligneuse sur pied. Sur 15 individus par espèce, des tarifs distincts ont été effectués sur les biomasses foliaire, raméale et caulinare, et de la souche. Le taux de carbone de chacune de ces biomasses a été mesuré pour chaque espèce, afin de convertir en stocks de carbone les biomasses ligneuse aériennes déterminées dans chaque jachère. Sur 6 jachères âgées de 1 à 25 ans on a également pu distinguer la biomasse que le paysan brûlerait lors d'une potentielle défriche, de celle qu'il conserverait comme bois de chauffe ou d'œuvre. La biomasse brûlée regroupe les biomasses foliaire, raméale, et en partie caulinare (tiges de moins de 4 cm de diamètre selon les pratiques locales de brûlis).

### Biomasse herbacée, litière, racines et carbone total du sol

11 jachères âgées de 1 à 30 ans ont fait l'objet de mesures sur les autres compartiments organiques. Afin de tenir compte de l'hétérogénéité spatiale prononcée dans les jachères, les mesures ont été réalisées tous les mètres sur un transect de longueur 20 m et de largeur 0.5 m. Les mesures de carbone souterrain ont été effectuées jusqu'à une profondeur de 40 cm. Ce choix tient compte à la fois du temps de travail nécessaire à la prise des données, et d'observations répétées localement et dans la sous région, selon

lesquelles l'activité biologique se trouve en majorité au dessus de 50 cm de profondeur (Chopart, 1980 ; Diao, 1995 ; Tomlinson *et al.*, 1998)

La biomasse herbacée a été prélevée sur chaque plateau de longueur 1 m et de largeur 0,5 m. La litière, définie comme la fraction organique figurée de plus de 2 mm non adhérente au sol, a été ramassée également. Un prélèvement de sol avec une tarière à racines de diamètre 56 mm a été effectué au centre de chaque plateau, sur les horizons 0-10, 10-20, 20-30 et 30-40 cm. Chaque échantillon de terre a été lavé par élutriation hydropneumatique automatique et les racines récupérées sur tamis de 1 mm. Cette technique permet d'estimer rapidement et assez correctement la biomasse racinaire fine (diamètre des racines : inférieur à 2 mm). En revanche, la tarière ne permet pas de sectionner correctement les racines plus grosses, et les faibles volumes prélevés sont inadaptés, car la distribution des racines les plus épaisses est hétérogène. C'est pourquoi la biomasse de racines de diamètre supérieur à 2 mm a été mesurée par extraction du sol de tout le plateau, sur une profondeur de 40 cm. Le tri s'est fait in situ, manuellement. Au préalable, des prélèvements de sol sur les 4 horizons précités ont été effectués sur profil dans chaque plateau, en vue de déterminer leur teneur en carbone total et leur densité apparente (prise de cylindres en métal de volume 100 cm<sup>3</sup>).

Six parcelles d'arachide menées depuis plus de 10 ans en rotation bisannuelle avec une jachère courte ou du mil ont également été retenues. Sur chacune de ces parcelles semées avec un cultivar, 4 plateaux de 16 m<sup>2</sup> ont été choisis aléatoirement. Sur chaque plateau la biomasse aérienne (fanes, gousses et adventices) a été pesée et un échantillon prélevé pour détermination de l'humidité. A chaque coin du plateau les prélèvements de sol pour détermination de biomasse racinaire fine, de carbone total et de densité du sol ont été effectués suivant les mêmes méthodes que dans les jachères.

Au laboratoire, la biomasse de racines épaisses a été lavée sous eau ; puis elle a été séchée jusqu'à masse constante (environ 48 heures à 70°C), tout comme les biomasses aériennes, la litière et les racines fines élutriées. Les grosses racines ont été triées en trois classes de diamètre ([2-5], [5-10] et supérieur à 10 mm). Le sol a été séché 24 heures à 105°C et tamisé délicatement à 2 mm avant mesure de densité et détermination du carbone total. Celle-ci a été faite selon la méthode Anne (oxydation à chaud par bichromate de potassium), également utilisée pour déterminer le taux de carbone des végétaux (une analyse par compartiment et par parcelle).

Afin de tester un éventuel effet de la saison de prélèvement sur le statut organique des sols, des prélèvements sur l'horizon 0-10 cm ont également été effectués en fin de saison sèche, avant le flash de minéralisation habituellement observé lors des premières pluies (Myers *et al.*, 1994). Les parcelles concernées étaient : 2 cultures d'arachide, une jachère de 10 ans et une jachère de 15 ans. Sur chacun de 4 plateaux de 100 m<sup>2</sup>, 16 prélèvements ont été faits, représentant environ 16 kg de sol. Le sol a été tamisé in situ à 2 mm. Un échantillon de sol tamisé a été récupéré pour chaque plateau, ainsi que le refus du tamis (méthode inspirée de Feller, 1981). Ce refus contient en effet la fraction organique du sol la plus labile.

### **Mesures de décomposition de racines**

Des racines de *Combretum glutinosum* ont été récoltées, nettoyées, séchées (70°C, 1 à 3 jours suivant le diamètre) et pesées. Elles ont été rassemblées en classe de diamètre [0-2] mm, [2-5] mm et [5-10] mm. Elles ont été insérées dans des sachets en métal inoxydable. Le diamètre des racines de la classe [5-10] mm a été mesuré précisément afin de détecter une éventuelle corrélation avec le taux de décomposition. Les sachets ont été mis en terre en début de saison des pluies. Avant la saison des pluies de 1995, une jachère de 15 ans a été défrichée. Sur 100 points distants de 1 m les uns des autres, 3 sachets contenant entre 1 et 5 g de racines, chaque sachet correspondant à une classe de diamètre, ont été enterrés à 10 cm de profondeur. Durant deux ans, 20 sachets de chaque classe de diamètre ont été retirés du sol, tous les six mois (donc en début de saison sèche puis de saison des pluies). Les racines ont été séparées de la terre, séchées (70°C durant 1 à 3 jours), pesées. Elles sont ensuite calcinées et leur cendre est pesée, afin de calculer un pourcentage de masse initiale hors cendre et donc hors contamination minérale.

## Traitements statistiques

Sauf indication contraire, les taux sont exprimés en  $\text{g.kg}^{-1}$ , et les stocks en  $\text{t.ha}^{-1}$ . Lorsqu'il s'agit de biomasse, les valeurs s'entendent par défaut en matière sèche. Afin de tenir compte de possibles variations de densité de sol liées aux traitements, le stock de carbone a aussi été exprimé en équivalent massique, c'est à dire pour une masse de sol – et non une profondeur – équivalente entre parcelles (Ellert et Bettany, 1995).

En raison des problèmes d'autocorrélation posés par les mesures répétées sur transect, le traitement statistique n'a porté que sur les moyennes de chacune des parcelles. Celles-ci ont alors été regroupées en quatre classes : cultures, jachères jeunes (1 à 3 ans) ; jachères d'âge moyen (4 à 11 ans) ; jachères âgées (plus de 11 ans). Le choix des limites des classes d'âge de jachère repose sur des critères d'évolution de physionomie de la végétation, corroborées par Donfack *et al.* (1995) au Nord-Cameroun. Les analyses statistiques ont été réalisées sur logiciel SAS. Lorsque les hypothèses de normalité des distributions et d'homoscédasticité étaient vérifiées, une analyse de variance a été effectuée directement sur les données (proc GLM). Dans le cas contraire, les variables ont été préalablement transformées par leurs rangs (Potvin et Roff, 1993). Pour des raisons similaires, les corrélations entre variables ont été estimées par le coefficient de Spearman.

## Résultats

### Dynamique du carbone durant la phase de jachère

#### Evolution générale des stocks de carbone

L'estimation des stocks de carbone organique dans les cultures et les jachères est présentée dans la figure 4.2-1. Elle indique une augmentation rapide du stock de carbone après l'abandon de la culture. Les cultures stockent  $27,8 \text{ t}$  de carbone à l'hectare, soit à peine plus de la moitié des stocks mesurés sur les jachères âgées ( $50 \text{ t.ha}^{-1}$  dès 10 ans). La différence est le fait de la végétation ( $5,6 \text{ t.ha}^{-1}$  en culture, contre  $23,8 \text{ t.ha}^{-1}$  dans les jachères longues). La matière organique du sol montre des variations sensibles ( $22,2$  à  $28,0 \text{ t.ha}^{-1}$ ) entre classes de parcelles, mais pas d'évolution claire au cours du cycle culture-jachère si l'on exprime les stocks en équivalents massiques. Le taux de carbone sur  $0-10 \text{ cm}$  ne change pas significativement, mais il est plus élevé dans les jachères que dans les cultures. Sur  $0-40 \text{ cm}$  l'augmentation est significative par rapport aux cultures pour les jachères de moins de 11 ans. La biomasse aérienne ligneuse, principale contribution à la biomasse totale aérienne, montre des évolutions différentes suivant les compartiments (figure 4.2-2). La biomasse caulinare est multipliée par 5 en 25 ans et les biomasses de feuilles et de rameaux se stabilisent rapidement à 5 et  $12 \text{ t.ha}^{-1}$  respectivement.

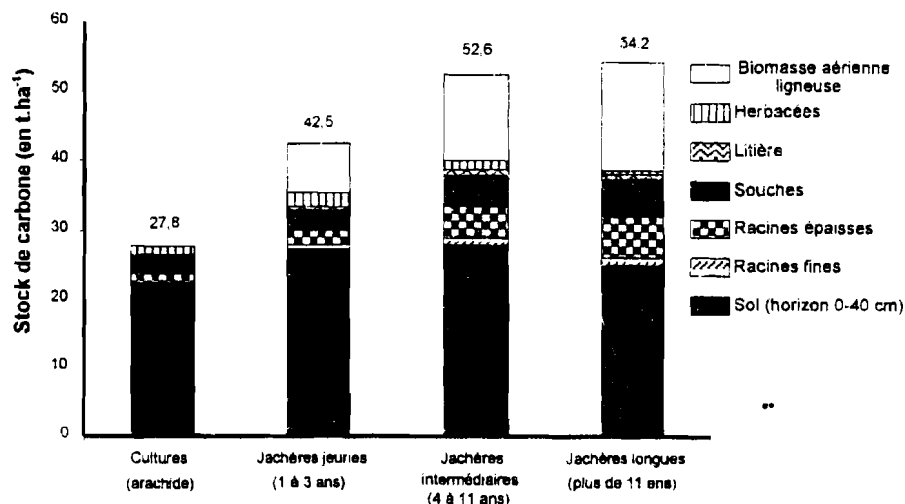
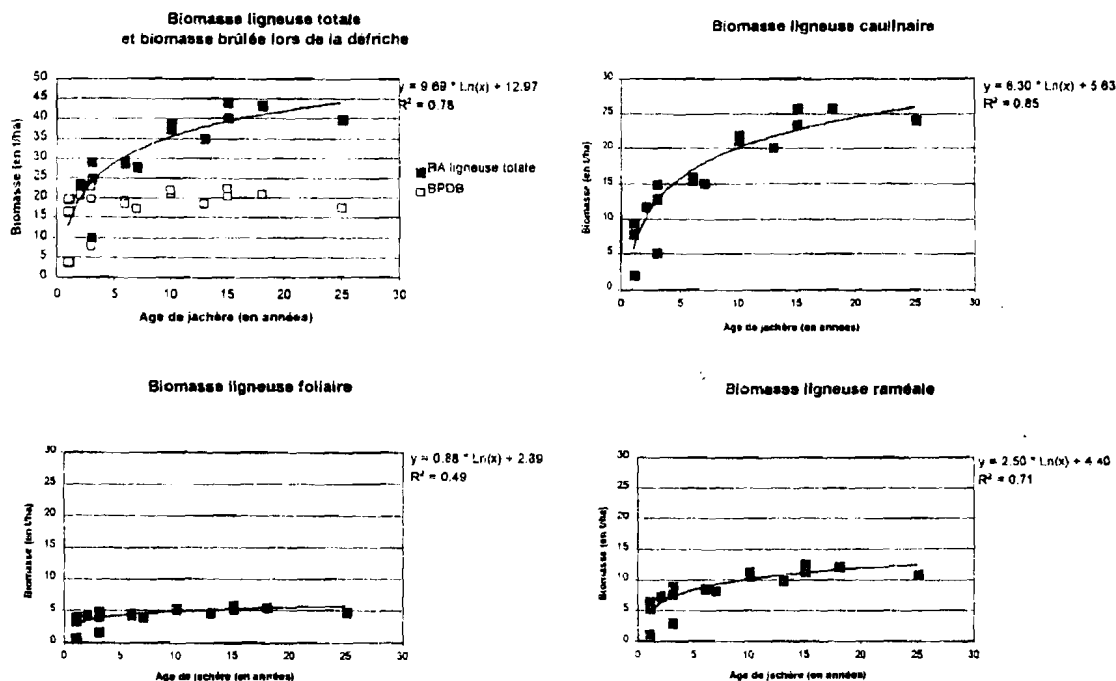


Figure 4.2-1 : Stockage du carbone durant le cycle culture-jachère (le chiffre au dessus de la barre est le stock de carbone total du système).



**Figure 4.2-2 : Evolution des différents compartiments de la biomasse ligneuse aérienne selon l'âge de la jachère.**

### *Evolution différentielle des compartiments organiques*

Le tableau 4.2-1 indique que la biomasse racinaire est faiblement corrélée au taux de carbone en surface. Il n'existe en revanche aucun lien entre taux de carbone et contribution pondérale de la fraction [0-50]µm du sol. C'est pourquoi, dans les tests statistiques qui suivent sur le carbone du sol, la fraction granulométrique fine n'est pas utilisée comme covariable.

Les valeurs des biomasses mesurées dans les différents compartiments des 4 classes d'agro-écosystèmes évoluent diversement (tableau 4.2-2).

La biomasse aérienne ligneuse double de façon significative entre jeunes et vieilles jachères, passant de 18 à 41 t.ha-1. La biomasse racinaire fine est multipliée par trois durant les premières années de jachère et par 5 au bout de 10 ans d'abandon de la terre (3 t.ha-1, différences significatives). En revanche les jachères courtes n'augmentent pas significativement la biomasse de racines épaisses (lignoux essentiellement) ni la biomasse de souches, les cultures héritant sans doute du maintien des souches d'arbres issues de la précédente défriche. Mais après 4 ans de jachère, la biomasse de racines épaisses est multipliée par 4 ; celle de souches stagne. Au delà de 10 ans, le stock de grosses racines est quintuplé (17 t.ha-1) et la biomasse de souches (14 t.ha-1) a doublé.

La biomasse herbacée diminue fortement durant la jachère, passant de 5,8 à 1,8 t.ha-1 (la faiblesse des effectifs ne permet pas de déceler des différences significatives). Les cultures stockaient 3,5 t.ha-1 de biomasse aérienne (fanes et gousses d'arachide : 1,8 t.ha-1 ; adventices herbacées : 0,53 t.ha-1 ; adventices lignoux : 0,32 t.ha-1).

Le carbone du sol diffère significativement entre jachères et cultures sur l'horizon 0-10 cm (données en équivalent massique seulement). Sur l'horizon 0-40 cm, aucune tendance claire n'est décelable quant au stock de carbone. Les taux mesurés se situent entre 4,5 et 6,2 g.kg-1 sur 0-10 cm, entre 3,7 et 4,6 % sur 0-40 cm. Trente à trente cinq pour cents du carbone est stocké dans les 10 premiers centimètres du sol.

**Tableau 4.2-1 : Coefficients de corrélation de Pearson sur trois variables mesurées dans l'horizon [0-10] cm de 7 jachères de 2 à 30 ans.**

Fraction [0-50]µm : pourcentage de la contribution massique de la fraction [0-50] du sol. ( ) : nombre de mesures. \* : p(Ho : R = 0) < 5%

	Tx C		Frac. [0-50]		B. r. f.
Taux de carbone	1		1		
Fraction [0-50 µm]	0,103 (120)		1		
Biomasse racinaire fine	0,182 (140) *		0,161 (120)		1

**Tableau 4.2-2 : Valeurs des compartiments organiques des cultures et des jachères.**

Stocks en t.ha-1 (excepté le carbone du sol, exprimé en tC.ha-1). Taux en g.kg-1. Anova et test de comparaison multiple SNK effectués sur les rangs des données. Probabilité que les moyennes des rangs soient égales : \* < 5% ; \*\* < 1% ; \*\*\* < 0,1%. Les moyennes des rangs portant la même lettre ne diffèrent pas significativement entre elles (α=5%)

Compartiments	Culture			Jachère courte (1-3 ans)			Jachère de 4 à 11 ans			Jachère longue (plus de 11 ans)			F
	Moyenne	n	es	Moyenne	n	es	Moyenne	n	es	Moyenne	n	es	
BA lig				18,36 <sub>c</sub>	7	3,33	32,42 <sub>b</sub>	5	2,39	40,66 <sub>a</sub>	5	1,64	24,51 <sub>***</sub>
BPDB				16,02 <sub>a</sub>	7	2,70	19,70 <sub>a</sub>	5	0,87	20,03 <sub>a</sub>	5	0,89	0,37
Herbac	3,28	6	0,32	5,76 <sub>a</sub>	4	0,33	3,91 <sub>a</sub>	4	1,91	1,80 <sub>a</sub>	3	0,21	3,02
Litière				1,51 <sub>a</sub>	4	0,33	2,70 <sub>a</sub>	4	0,56	2,04 <sub>a</sub>	3	0,30	1,4
BRf	0,62 <sub>c</sub>	6	0,05	1,55 <sub>b</sub>	4	0,14	2,94 <sub>a</sub>	4	0,62	3,26 <sub>a</sub>	3	0,13	25,17 <sub>***</sub>
BRG	3,38 <sub>b</sub>	6	0,36	5,82 <sub>a</sub>	4	1,07	12,69 <sub>a</sub>	3	4,33	16,97 <sub>a</sub>	2	2,92	10,43 <sub>**</sub>
Souches	3,38 <sub>a</sub>	3	3,22	5,82 <sub>a</sub>	7	1,47	12,69 <sub>a</sub>	6	1,83	16,97 <sub>a</sub>	5	1,18	2,64
TxC [0-10]	4,49 <sub>a</sub>	6	0,19	6,06 <sub>a</sub>	4	0,77	6,15 <sub>a</sub>	4	0,64	6,16 <sub>a</sub>	3	0,59	4,29 <sub>*</sub>
StC [0-10]	6,79 <sub>a</sub>	6	0,32	9,32 <sub>a</sub>	4	1,17	9,27 <sub>a</sub>	4	1,01	8,99 <sub>a</sub>	3	0,82	4,25 <sub>*</sub>
StC mas [0-10]	7,10 <sub>b</sub>	6	0,25	9,33 <sub>ab</sub>	4	1,23	10,14 <sub>ab</sub>	4	1,15	11,01 <sub>a</sub>	3	1,51	4,61 <sub>*</sub>
TxC [0-40]	3,72 <sub>b</sub>	6	0,11	4,50 <sub>ab</sub>	4	0,37	4,61 <sub>a</sub>	4	0,15	4,24 <sub>ab</sub>	3	0,24	4,72 <sub>*</sub>
StC [0-40]	22,23 <sub>b</sub>	6	0,69	27,35 <sub>a</sub>	4	2,21	28,01 <sub>a</sub>	4	0,83	24,97 <sub>ab</sub>	3	1,17	7,69 <sub>**</sub>
StC mas [0-40]	23,37 <sub>a</sub>	6	0,68	27,82 <sub>a</sub>	4	2,57	28,40 <sub>a</sub>	4	1,05	27,52 <sub>a</sub>	3	2,29	2,92

BA lig = biomasse aérienne ligneuse ; BPDB = biomasse potentielle disponible pour le brûlis ; Herbacées = biomasse herbacée (cultures : fane et gousses d'arachide, adventices herbacées et ligneux) ; BRf = biomasse racinaire fine ; BRG = biomasse de grosses racines ; TxC [0-10] = taux de carbone du sol, horizon 0-10 cm ; StC [0-10] = stock de carbone du sol, horizon 0-10 cm ; StC mas [0-10] = stock de carbone du sol en équivalent massique, horizon 0-10 cm ; TxC [0-40] = taux de carbone du sol, horizon 0-40 cm ; StC [0-40] = stock de carbone du sol, horizon 0-40 cm ; StC mas [0-40] = stock de carbone du sol en équivalent massique, horizon 0-40 cm.

### **Statut organique du sol en fin de saison sèche**

Les résultats des analyses de carbone et d'azote des sols de deux cultures d'arachide et de deux jachères de 10 et 15 ans prélevés en fin de saison sèche ne montrent pas de tendance nette pour l'azote, bien que des différences significatives existent (tableau 4.2.3.). La jachère la plus ancienne a cependant le taux de carbone le plus élevé.

**Tableau 4.2-3 : Statut organique du sol en fin de saison sèche dans différents agro-écosystèmes du cycle culture-jachère (taux en g.kg<sup>-1</sup>) et résultats d'une analyse de variance.**

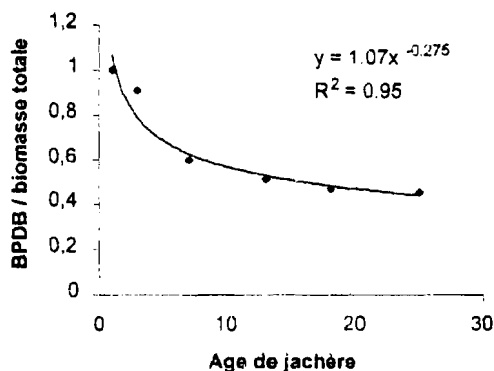
Probabilité que les moyennes des rangs soient égales : \* < 5% , \*\* < 1%. Les moyennes des rangs portant la même lettre ne diffèrent pas significativement entre elles (test SNK ;  $\alpha=5\%$ ). n=4

Type		TxC		TxN		C/N	
Arachide	Moyenne	8,97	b	0,68	ab	13,35	b
(rot : mil)	Erreur std	0,85		0,10		0,60	
Arachide	Moyenne	7,49	b	0,55	b	13,55	b
(rot : jachère)	Erreur std	1,48		0,10		0,60	
Jachère 12 ans	Moyenne	8,73	b	0,61	ab	14,45	b
	Erreur std	0,73		0,08		0,68	
Jachère 17 ans	Moyenne	12,18	a	0,78	a	15,50	a
	Erreur std	1,99		0,10		0,50	
F		8,65	**	4,35	*	10,75	*

## Défriche et évolution de quelques stocks organiques

### Compartiments aériens ligneux

Le rapport de la biomasse potentielle disponible pour le brûlis ,ou BPDB, à la biomasse ligneuse totale, diminue rapidement de 1,0 à 0,5 en moins de 25 ans (figure 4.2-3). Cette décroissance suit une loi « puissance » qui appliquée aux mesures de biomasse totale permet d'estimer précisément la BPDB pour 15 parcelles de jachères jeunes à anciennes (figure 4.2-2). La BPDB se stabilise très rapidement à environ 20 t.ha-1.



**Figure 4.2-3 : Evolution du rapport de la biomasse potentielle disponible pour le brûlis (BPDB) à la biomasse aérienne ligneuse totale en fonction de la durée de la jachère.**

### Dynamique racinaire : cas d'une défriche avec dessouchage

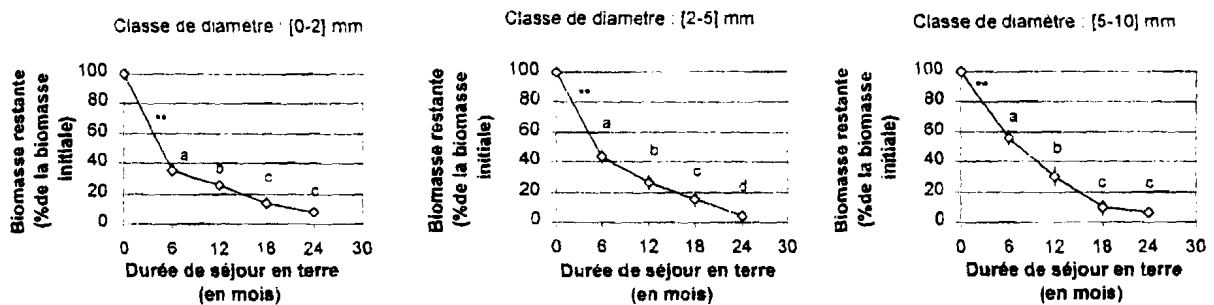
Quelle que soit la durée de présence en terre et le diamètre des racines, la masse initiale de racines et le pourcentage restant de cette masse initiale ne sont jamais corrélés significativement (tests effectués sur le coefficient de corrélation de Spearman – résultats non publiés). De même le pourcentage de masse initiale restante est, pour les racines de diamètre supérieur à 5 mm, indépendant du diamètre de la racine mise en sachet.

La décomposition des racines est très rapide, puisque plus de 90% de la biomasse de racines initialement placées en terre a disparu en moins de deux ans (figure 4.2-4). Le diamètre des racines



n'influence la cinétique de décomposition des racines que lors des 6 premiers mois, les racines les plus fines se décomposant les plus rapidement (tableau 4.2-3). La saisonnalité du climat ne se retrouve pas sur l'allure des courbes de décomposition.

Les cinétiques de décomposition, appliquées à des jachères de différents âges en tenant compte des stocks racinaires mesurés précédemment, permettent d'estimer les transferts de matière organique depuis le compartiment « racines » vers les compartiments « litière » et « MOS », dans le cas d'une mise en culture avec dessouchage de la jachère (figure 4.2-5). En cas de dessouchage, les restitutions de matière organique au sol sont très fortes durant la première année, variant de 5,2 à 10,9 t.ha<sup>-1</sup>, dans les jachères jeunes et les jachères âgées respectivement. A l'issue des deux premières années, les apports ne diffèrent plus quantitativement.



\*\* :  $P(H_0 : \text{taux de biomasse restante à 6 mois} = 100) < 1\%$  (test Z). Les moyennes ayant la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% (test SNK sur rang des données). Les barres verticales indiquent les erreurs-type.

Figure 4.2-4 : Décomposition de racines de *Combretum glutinosum* après défriche d'une jachère de 15 ans

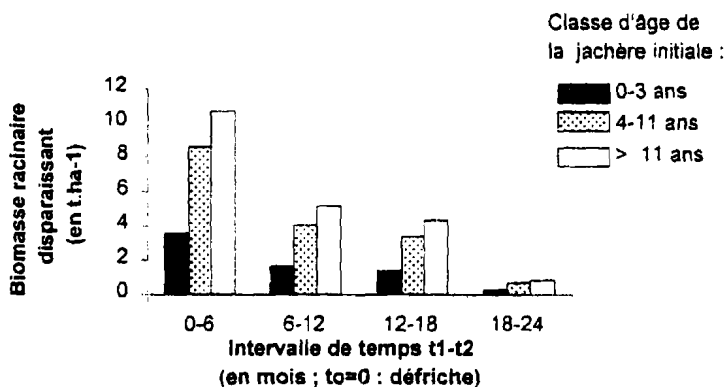


Figure 4.2-5 : Biomasse racinaire disparaissant après défriche selon trois classes d'âge de la jachère initiale.

**Tableau 4.2-4 : Influence du facteur classe de diamètre sur la cinétique de décomposition des racines.**

Résultats d'une analyse de variance effectuée sur les données transformées par leur rang. Probabilité que les moyennes soient égales. \*\* < 1%  
Deux moyennes portant la même lettre ne diffèrent pas significativement ( $\alpha=5\%$ ).

Nb mois	Classe de diamètre (cm)			Anova F
	0-2	2-5	5-10	
6	35,7 b	43,7 b	56,1 a	6,79 **
12	25,5 a	26,5 a	30,6 a	0
18	14,0 a	15,0 a	9,6 a	2,23
24	7,8 a	4,0 a	6,8 a	2,54

## Discussion

Les compartiments organiques témoignent, durant le cycle de culture et de jachère, de dynamiques diverses. Ce qui a déjà été observé en zone plus humide (Kottosame et al., 1997) est confirmé ici : les réservoirs de carbone apparemment les plus sensibles aux différentes étapes de l'alternance culture-jachère sont biologiquement les plus actifs, tandis que le stock de carbone du sol reste stable. Durant la jachère la biomasse aérienne ligneuse et le stock de racines augmentent, au détriment de la biomasse herbacée, alors que les stocks de litière et de MOS stagnent. Swift et Anderson (1994) proposent les concepts de biote productif (ensemble des organismes végétaux et animaux produisant des ressources vivrières ou marchandes) et de biote de ressource (ensemble des organismes qui contribuent positivement à la productivité du système). Cette distinction peut être utilement reprise pour classer les différents rôles de la jachère émergente de l'étude de son statut organique global.

### *Fonctions productrices de la jachère*

#### *Jachère et production ligneuse*

Le bois est une ressource organique importante des jachères et des forêts en Afrique tropicale sèche. La productivité de ces formations est cependant difficile à estimer, tant sont nombreux les facteurs pouvant l'influencer : feu, pâturage, coupes sauvages. Catinot (1994) a retenu une production maximale (savanes gérées) de 2 à 3 t.ha-1.an-1 en zone soudanienne, en adoptant une densité conventionnelle du bois de 1t.m-3 pour le bois des forêts tropicales sèches (Singh, 1984). Ces chiffres s'accordent avec nos observations durant les dix premières années de jachère (4 t.ha-1.an-1 en moyenne). Traduisant une augmentation de la concurrence inter-arbres pour la lumière, la productivité fléchit par la suite à moins d'une tonne par hectare, valeur un peu inférieure à l'estimation de Singh (1984) sous la pluviométrie annuelle de la région.

Le passage fréquent des feux est sans doute un facteur limitant de la réinstallation d'une savane arborée, surtout durant les premières années de jachère (César, 1992). Kaïre (1996) a ainsi estimé à 7 à 8 t.ha-1 la biomasse ligneuse brûlée sur le terroir dans les jachères de moins de 4 ans, à 3 t.ha-1 dans les jachères les plus anciennes. En revanche, les coupes, qui concernent surtout les formations de plus de 6 ans et sont estimées à 2 t.ha-1, n'ont encore qu'un impact limité sur le développement de la végétation ligneuse. La récolte de bois mort, plus aisée que la coupe pour un usage énergétique, suffit aux besoins encore limités de la population.

#### *Jachère et usage pastoral*

La fermeture progressive du couvert ligneux induit une baisse rapide de la biomasse de la strate herbacée au delà de trois ans de jachère. Les biomasses mesurées dans les jeunes jachères (un peu moins de 6 t.ha-1) sont élevées en comparaison avec les résultats de Blanford (1991) sur le même terroir, mais rejoignent ceux indiqués pour la zone soudanienne par Boudet (1975). Charreau et Nicou (1971) ont pu mesurer des biomasses herbacées de 2 à 10 t.ha-1 en climat plus sec du Sénégal. Au Burkina Faso,

Fournier (1982) enregistre des stocks de 3,5 à 9 t.ha<sup>-1</sup>, valeurs convergentes avec celles de Lamotte et Bourlière (1978) en savane arbustive plus humide (7 t.ha<sup>-1</sup>). Cette strate herbacée est avant tout pour l'agro-éleveur une source de fourrage. Delacharlerie (1994) a en effet montré que les ligneux intervenaient localement pour seulement 7 à 14% du régime, contre 75% aux herbacées naturelles. En saison sèche les jachères de moins de 10 ans, qui représentent plus de 15% du temps de parcours, contribuent à 80 à 90% du régime des bovins (Ickowicz *et al.*, 1998). Il semble cependant que les jachères les plus parcourues soient d'âge moyen et à couvert mixte (Ickowicz, 1997). En effet, les herbacées des jachères les plus jeunes ont une faible valeur fourragère (César et Coulibaly, 1993) ; de plus elles n'offrent guère de possibilité de complémentation azotée par le broutage de certaines espèces ligneuses en fin de saison sèche. Dans les jachères âgées les fourrages sont quantitativement très limités.

### *Fonctions d'entretien de la fertilité de l'agro-écosystème par la dynamique du carbone*

#### *Origine des apports de carbone au sol*

Une grande part de la production de biomasse aérienne ne retourne pas au sol sous l'effet des prélèvements par les hommes et par les animaux, mais surtout en raison des feux incontrôlés qui traversent presque annuellement les jachères périphériques. Les apports de biomasse aérienne accumulée durant la jachère sont également très faibles lors de la défriche, puisque le bois est exporté par le paysan vers le village, et que les branchages, les feuilles et les herbes sont rassemblés et brûlés sur place. Le brûlis, qui est un gaspillage énergétique et minéral immense, se justifie ici par la rareté de la main d'œuvre et par son effet positif sur le pH du sol et la mobilisation rapide d'éléments minéraux.

Dans ces conditions, les apports de matière organique au sol se font principalement par les racines et dans une moindre mesure par la litière.

#### *Dynamique racinaire dans le cycle culture-jachère*

Les valeurs de biomasse racinaire mesurées sont cohérentes avec celles d'autres travaux effectués en Afrique de l'Ouest. Chopart (1980) a déterminé des biomasses de racines fines sous arachide de 0,3 t.ha<sup>-1</sup>, sous climat et sols plus favorables dans le centre du Sénégal. Peu d'études existent sur les systèmes racinaires de jachères. César et Coulibaly (1993) font part de stocks de racines fines respectivement de 2,6 et 5,3 t.ha<sup>-1</sup> sur jachères de 10 à 15 ans, respectivement dégradée et restaurée, dans un climat ivoirien comparable à celui de notre étude. En zone plus sèche du Sénégal Charreau et Nicou (1971) rapportent des valeurs de 0,7 à 7,7 t.ha<sup>-1</sup> (moyenne : 2 t.ha<sup>-1</sup>) sur de jeunes jachères herbacées. Sous formations naturelles, Lamotte et Bourlière (1978) ont mesuré 23 t.ha<sup>-1</sup> en savane arbustive de climat subhumide ; plus au nord de la Côte d'Ivoire, Menaut et César (1979) indiquent des biomasses variant entre 3,5 et 27,0 t.ha<sup>-1</sup>. Les biomasses maximales semblent atteintes en forêt tropicale sèche avec des stocks de 30 t.ha<sup>-1</sup> au Mexique (Castellanos *et al.*, 1991) et au Venezuela (Delaney *et al.*, 1997).

D'un point de vue dynamique, les systèmes racinaires, hétérotrophes vis à vis du carbone, reçoivent les photosynthétats des parties aériennes. Dans la rhizosphère, cette dynamique se caractérise par deux types de transferts de matière organique de la plante vers le sol. Il s'agit d'une part de l'exsudation de photosynthétats, qui peut représenter 10 à 40% des glucides produits par la plante (Perry *et al.*, 1989), d'autre part de la décomposition de la nécromasse racinaire. Ces apports, en particulier l'exsudation, sont difficiles à quantifier, surtout en saison des pluies. Les rares estimations indiquent des taux de renouvellement de 0,5 à 1,2 an<sup>-1</sup> en savane soudanienne (Menaut et César, 1979) et de 0,6 an<sup>-1</sup> en zone sahélienne (Grouzis, 1988). En Haute Casamance, Manlay (1994) a mesuré une chute 40 à 50% de la biomasse racinaire fine durant la seule saison sèche. Ce qui correspondrait, dans les jachères du terroir, à un apport annuel de 0,7 à 1,5 t.ha<sup>-1</sup>. Le flux réel de carbone provenant des racines, qui tient compte du renouvellement des racines épaisses, de l'exsudation et des nécroses de saison des pluies, est certainement bien supérieur.

Les cinétiques de décomposition des racines de ligneux montrent que la biomasse fraîche, même de faible qualité, est rapidement décomposée et que l'activité de décomposition se poursuit amplement en saison sèche, en raison de la présence des termites. L'expérience indique que deux compartiments, l'un labile, l'autre réfractaire se distinguent dans le matériau racinaire initial. Dans les jachères du terroir, Courbois *et al.* (1998) ont obtenu des courbes de décomposition de litière similaires aux nôtres.

### *Influence de la jachère sur le statut organique du sol*

De nombreux travaux ont montré de façon claire que la mise en culture de sols tropicaux occupés par des formations climaciques s'accompagne d'une chute drastique, parfois de moitié, du taux de carbone du sol (Fauck et Moureaux, 1969 ; Brams, 1971 ; Juo *et al.*, 1995). Cette observation est attribuée à l'arrêt des retours organiques au sol, à la modification des conditions pédo-climatiques et au travail du sol.

La réversibilité d'un tel phénomène par la pratique de la jachère en climat tropical sec et sur sol sableux est cependant loin de faire la même unanimité. Certains travaux font état d'une augmentation significative du taux de carbone du sol suite à plusieurs années de jachère (Greenland et Nye, 1959 ; Aina, 1979 ; Areola *et al.*, 1982 ; Feller, 1995 ; Tiessen *et al.*, 1998), tandis que d'autres n'observent aucune évolution significative (Manlay, 1994 ; Jaiyeoba, 1995 ; Juo *et al.*, 1995 ; Kottosame *et al.*, 1997 ; Bashkin et Binkley, 1998). Les résultats de cette étude ne laissent pas non plus supposer une réelle capacité de la jachère à stocker le carbone dans le sol, capacité d'ailleurs mise en doute par les synthèses de Nye et Greenland (1960), Pieri (1989) et van Wambeke (1991).

Plusieurs facteurs permettent d'expliquer ici la faible réponse des stocks de carbone du sol à la mise en jachère.

Jones et Wild (1975) et Feller (1995) ont montré que le taux d'argile, et dans une moindre mesure la pluviométrie (durée de la saison humide) étaient les deux meilleures variables naturelles prédictives du taux de carbone en milieu tropical. Sur les plateaux de Casamance, les forts taux de sables grossiers (40 à 50%) et la rareté des argiles (moins de 15%) ne permettent pas la protection de la matière organique du sol contre les attaques microbiennes et l'érosion (Feller et Beare, 1997). La durée limitée de croissance végétale (5 à 6 mois par an), l'ampleur des phénomènes de lessivage et d'érosion liés à la violence des pluies, ainsi que les conditions de température élevées peu favorables à l'humification (Moureau, 1967) sont d'autres déterminants abiotiques du faible taux de MOS. Les feux fréquents, qui constituent autant de transferts directs de carbone vers l'atmosphère, sont également incriminables, quoique leur effet sur les sols des jeunes jachères soit controversé (Masse *et al.*, 1997).

Le contrôle biologique de la MOS explique cependant tout autant la faible capacité de stockage de carbone du sol. La décomposition très rapide des racines de ligneux et de litière observée localement témoigne de l'extraordinaire potentiel de décomposition-minéralisation du milieu, expression d'une activité biologique intense.

La synthèse de Jones (1990) rappelle qu'en savane boisée africaine les termites sont généralement les principaux décomposeurs de la matière organique. Les vers de terre améliorent la disponibilité de la MOS aux micro-organismes en remaniant annuellement la presque totalité de la terre des premiers horizons (Lavelle, 1983). L'activité minéralisatrice de la microflore du sol pourrait être quatre fois plus importante en savane tropicale qu'en milieu tempéré (Jenkinson et Ayanaba, 1977). Sous l'effet de cette forte activité biologique, la matière organique des sols tropicaux est d'ailleurs plus dégradée que celle des sols tempérés (Grisi *et al.*, 1998).

### *Rôle dynamique du carbone dans la restauration de la fertilité par la pratique de la jachère*

L'accumulation des éléments minéraux durant la phase de jachère est réalisée principalement dans la biomasse végétale vivante, et en particulier, dans le sol, au niveau des racines. Cette caractéristique fait des savanes des systèmes particulièrement conservateurs d'un point de vue minéral (Abbadie *et al.*, 1992 ; Myers *et al.*, 1994) et leur assure une forte productivité même sur des sols pauvres (Abbadie *et al.*, 1996). La matière organique végétale faisant l'objet d'une forte prédation lors de son retour à la litière, toute amélioration quantitative du stockage de carbone dans le sol passe par des pratiques visant à augmenter le stock racinaire, que Pieri (1989) qualifie de « clé de voûte » de l'agro-écosystème durable. Nous avons montré que la jachère naturelle répond bien à cette exigence.

Néanmoins, le stockage de la MOS, qui renvoie aux seules propriétés structurales du carbone, ne doit pas être l'unique but d'une gestion organique de la qualité du sol. La fertilité du sol n'est pas réductible à son statut minéral et hydrique, et à sa texture. Elle est largement dépendante de l'organisation biologique du sol, organisation pilotant certaines propriétés physiques du sol et la nutrition minérale de la plante (Chotte *et al.*, 1995).

En ceci un sol « durablement fertile » doit être appréhendé comme un écosystème. Le maintien de l'intégrité de ce système, ouvert, non isolé et en non équilibre thermodynamique, exige la consommation

d'un flux constant d'énergie (Muller, 1997), dont le carbone est le principal vecteur. La jachère semble bien être le siège d'un tel flux : elle bénéficie, par rapport à la culture, de restitutions de biomasse aérienne et racinaire au sol plus importantes, et d'une augmentation de l'exsudation racinaire illustrée par l'évolution de la biomasse racinaire fine. Par rapport à l'écosystème cultivé, la jachère modifie également la qualité des flux organiques, en diversifiant la nature et la localisation spatiale et temporelle des matériaux organiques. La diversification des chemins trophiques, ainsi que la modification des conditions pédoclimatiques micro-locales (température, arrêt du travail du sol), induisent l'établissement de nouvelles communautés de décomposeurs, comme en témoignent les travaux de Derouard et Lavelle, (1994) et Cadet (1998). Cette diversification permet une augmentation de la stabilité et de la viabilité de l'écosystème (Perry *et al.*, 1989).

## Conclusion

La jachère est souvent considérée comme une phase de repos, de non activité. Dans les sols tropicaux sableux, cette idée paraît a priori confortée par l'inertie de la plupart des variables physico-chimiques du sol. L'examen de l'évolution des compartiments organiques avec l'âge de la jachère montre qu'il s'agit d'une conception erronée de la jachère. La jachère est un processus actif de régénération de la fertilité, reposant essentiellement sur des mécanismes biologiques.

Dans ces conditions, le statut organique utilisé comme indicateur du bon fonctionnement de l'écosystème doit être redéfini. La mesure du taux ou du stock de carbone total du sol est une simple photographie. En milieu tempéré, où les processus biologiques sont limités par la température, cette mesure a pu être utilisée comme indicateur de qualité du sol. En milieu tropical, où les processus biologiques sont sans doute prépondérants dans la pédogenèse, la mesure du taux de carbone total doit être complétée par :

- une caractérisation qualitative permettant de prédire la dynamique de la MOS. Cette caractérisation peut être faite par fractionnement granulométrique (Feller, 1995), mesure de la biomasse microbienne (Palm *et al.*, 1996) ou recherche d'éventuelles dynamiques saisonnières du taux de carbone
- la prise en compte du statut racinaire du sol, qui doit être considéré comme une composante du statut organique du sol. La biomasse racinaire peut représenter jusqu'à 30% du carbone stocké dans le sol de jachère, et elle est un indicateur précieux de stabilité et de viabilité de l'écosystème.
- la quantification des flux traversant le système sol, en mesurant les entrées (production de litière, estimation – plus délicate – de l'exsudation et du taux de renouvellement des racines) et les sorties (estimation indirectes par quantification des besoins des décomposeurs, mesures directes d'émissions de dioxyde de carbone ou CO<sub>2</sub> par cloche).

Une telle approche permettrait d'envisager le statut organique du sol comme un indicateur de fertilité de l'écosystème à court terme (flux de carbone) et de viabilité à moyen terme (stock de MOS).

Les nécessaires propositions d'amélioration, et de substitution à la jachère en Afrique de l'Ouest doivent tenir compte des multiples services qu'elle assure au paysan par ses productions. Mais les innovations devront également favoriser les phénomènes biologiques de reconstitution de la fertilité du sol : maintien des ligneux, gestion des feux, restitutions organiques, entretien des communautés biologiques telluriques. Il ressort également de l'étude que le bénéfice de cette remontée biologique peut être prolongé par quelques mesures simples : défrichage sans désouchage chaque fois que cela est possible, travail minimal du sol, mulching ...

Enfin, dans une optique de changement climatique global et de maîtrise des émissions de gaz à effet de serre tels que le méthane et le CO<sub>2</sub>, les résultats présentés ici apportent quelques éléments pour l'utilisation de la jachère comme technique de piégeage du carbone en milieu tropical sec sur sol sableux. Il ne faut guère attendre de la jachère, du moins à court et moyen terme, pour augmenter les stocks de carbone du sol. Certes, une jachère de 10 ans permet de piéger dans la végétation quelque 25 t.ha<sup>-1</sup> de carbone supplémentaires par rapport à une culture d'arachide. Mais ce potentiel de fixation reste faible au regard de celui, au moins trois fois plus élevé, des forêts tropicales humides (Kottosame *et al.*, 1997) ; de plus, le contexte démographique n'est guère favorable à ce genre de préoccupation (Tiessen *et al.*, 1998).

## Références citées

- ABBADIE L., LEPAGE M. ET MENAUT J.C., 1996 Paradoxes d'une savane africaine. Comment des sols pauvres entretiennent une végétation abondante. *La Recherche* 287, 36-38.
- ABBADIE L., MARIOTTI A. ET MENAUT J.C., 1992 Independence of savanna grasses from soil organic matter for their nitrogen supply. *Ecology* 73 (2), 608-613.
- AINA P.O., 1979 Soil changes resulting from long-term management practices in Western Nigeria. *Soil Science Society of America Journal* 43, 173-177.
- ANONYME. 1991 Connaissance générale du milieu physique de la zone d'intervention du projet de foresterie rurale de Kolda. République du Sénégal/Ministère du Développement Rural et de l'Hydraulique. Agence Canadienne de Développement International.
- AREOLA O., AWETO A.O. ET GBADEGESIN A.S., 1982 Organic matter and soil fertility restoration in forest and savanna fallows in southwestern Nigeria. *GeoJournal* 6 (2), 183-192.
- ASADU C.L.A., DIELS J. ET VANLAUWE B., 1997 A comparison of the contributions of clay, silt, and organic matter to the effective CEC of soils of subSaharan Africa. *Soil Science* 162 (11), 785-794.
- BALDENSBERGER J., STAIMESSE J.P. ET TOBIAS C., 1967 Notice explicative de la carte pédologique du Sénégal au 1/200000 - Moyenne Casamance. ORSTOM, Dakar, 134 p.
- BASHKIN M.A. ET BINKLEY D., 1998 Changes in soil carbon following afforestation in Hawaii. *Ecology* 79 (3), 828-833.
- BLANFORT V., 1991 Phytosociologie et production de la végétation des parcours d'une petite région agropastorale de Moyenne-Casamance (Sénégal). Mémoire de DEA, INA-PG - Paris XI - Paris VI, Paris, 127 p.
- BOUDET G., 1975 Manuel sur les pâturages tropicaux et les cultures fourragères. Ministère de la Coopération - IEMVT, Paris, 254 p.
- BRAMS E.A., 1971 Continuous cultivation of West African soils : organic matter diminution and effects of applied lime and phosphorus. *Plant and Soil* 35, 401-474.
- CADET P., 1998 Gestion écologique des nématodes phytoparasites tropicaux. *Cahiers Agricultures* 7, 187-194.
- CASTELLANOS J., MAASS M. ET KUMMEROW J., 1991 Root biomass of a dry deciduous tropical forest in Mexico. *Plant and Soil* 131, 225-228.
- CATINOT R., 1994 Aménager les savanes boisées africaines. *Bois et Forêts des Tropiques* 241, 53-69.
- CESAR J., 1992 La production biologique des savanes de Côte d'Ivoire et son utilisation par l'homme. Thèse de Doctorat, Université de Paris VI, Maison Alfort, 671 p.
- CESAR J. ET COULIBALY Z., 1993 Conséquence de l'accroissement démographique sur la qualité de la jachère dans le Nord de la Côte d'Ivoire dans C. Floret et G. Serpantie (eds.), *La jachère en Afrique de l'Ouest*. Atelier International, Montpellier, ORSTOM, pp. 415-434.
- CHARREAU C. ET NICOU R., 1971 L'amélioration du profil cultural dans les sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche ouest-africaine et ses incidences agronomiques. *L'Agronomie Tropicale* 26 (5), 565-531.
- CHOPART J.L., 1980 Etude au champ des systèmes racinaires des principales cultures pluviales au Sénégal (arachide, mil, sorgho, riz pluvial). Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, 159 p.
- CHOTTE J.L., BLANCHART E. ET LAVELLE P., 1995 Gestion durable des terres en milieu tropical. Régulation biologique des processus de décomposition de la matière organique dans F. Ganry et B. Campbell (eds.), *Sustainable land management in African semi-arid and subhumid regions*. Proceedings of the SCOPE Workshop, Dakar, Senegal. CIRAD, pp. 89-97.
- COURBOIS L., MASSE D., REVERSAT F. ET PONTANIER R., 1998 Dynamique de la décomposition des litières d'espèces ligneuses et herbacées sur les jachères naturelles et améliorées de deux terroirs du Sénégal. Action de la mésofaune dans "Raccourcissement du temps de jachère, biodiversité et développement durable en Afrique centrale (Cameroun) et en Afrique de l'Ouest (Sénégal, Mali). Rapport scientifique 1997", pp. 29-35. ORSTOM, Dakar.
- DE RIDDER ET VAN KEULEN H., 1990 Some aspects of the role of organic matter in sustainable intensified arable farming systems in the West-African semi-arid-tropics (SAT). *Fertilizer Research* 26, 299-310.
- DELACHARLERIE P.F., 1994 Contribution à l'étude de l'alimentation des bovins sur parcours naturel en Moyenne-Casamance (Sénégal) : composition botanique des régimes, rôle des fourrages ligneux. Première approche de la disponibilité fourragère ligneuse. Mémoire de DESS, ENVA, Maison Alfort, 91 p. p.
- DELANEY M., BROWN S., LUGO A.E., TORRESLEZAMA A. ET QUINTERO N.B., 1997 The distribution of organic carbon in major components of forests located in five life zones of Venezuela. *Journal of Tropical Ecology* 13 (Part 5), 697-708.
- DEROUARD L. ET LAVELLE P., 1994 Variation de la macrofaune du sol au cours des différentes étapes de la jachère dans des systèmes agricoles au Sénégal dans "Raccourcissement du temps de jachère, biodiversité et développement durable en Afrique centrale (Cameroun) et en Afrique de l'Ouest (Sénégal, Mali). Rapport scientifique 1994", pp. 47-60. ORSTOM, Dakar.
- DIAO O., 1995 Comportement des systèmes racinaires des ligneux durant le cycle culture-jachère en Afrique soudanienne. Etude sur un terroir de la région de Kolda, Haute-Casamance, Sénégal. Mémoire d'Ingénieur. ENCR, Bambey, 34 p.
- DONFACK P., FLORET C. ET PONTANIER R., 1995 Secondary succession in abandoned fields of dry tropical Northern Cameroon. *Journal of Vegetation Science* 6, 499-508.
- ELLERT B.H. ET BETTANY J.R., 1995 Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. *Canadian Journal of Soil Science* 75, 529-538.
- FAUCK R. ET MOUREAUX C., 1969 Bilans de l'évolution des sols de Sefa (Casamance, Sénégal) après quinze années de culture continue. *L'Agronomie Tropicale* 24, 263-301.
- FELLER C., 1995 La matière organique dans les sols tropicaux à argile 1.1. Recherche de compartiments fonctionnels. Une approche granulométrique. Thèse d'Etat, Université Louis Pasteur, 393 p.
- FELLER C. ET BEARE M.H., 1997 Physical control of soil organic matter dynamics in the Tropics. *Geoderma* 79, 69-116.
- FELLER C., GANRY F. ET CHEVAL M., 1981 Décomposition et humification des résidus végétaux dans un agro-système tropical. I. Influence d'une fertilisation azotée (urée) et d'un amendement organique (compost) sur la répartition du carbone et de l'azote dans différents compartiments d'un sol sableux. *L'Agronomie Tropicale* 36 (1), 9-17.
- FLORET C., PONTANIER R. ET SERPANTIE G., 1993 La jachère en Afrique tropicale. UNESCO, Paris, 86 p.
- FOURNIER A., 1982 Cycle saisonnier de la biomasse herbacée dans les savanes de Ouango-Fitini. *Annales de l'Université d'Abidjan, Série E* XV, 63-94.
- GREENLAND D.J. ET NYE P.H., 1959 Increases in the carbon and nitrogen content of tropical soils under natural fallows. *Journal of Soil Science* 10 (2), 284-299.
- GRISI B., GRACE C., BROOKES P.C., BENEDETTI A. ET DELLABATE M.T., 1998 Temperature effects on organic matter and microbial biomass dynamics in temperate and tropical soils. *Soil Biology & Biochemistry* 30 (10-11), 1309-1315.
- GROUZIS M., 1988 Structure, productivité et dynamique des systèmes écologiques sahéliens (Mare d'Oursi, Burkina Faso). ORSTOM, Paris, 336 p.

- HERRICK J.E. ET WANDER M.M., 1998 Relationships between soil organic carbon and soil quality in cropped and rangeland soils: The importance of distribution, composition, and soil biological activity dans R. Lal, J.M. Kimble, R.F. Follett et B.A. Stewart (eds.) "Soil Processes and the Carbon Cycle", pp. 405-425. CRC Press Inc, Boca Raton.
- ICKOWICZ A., 1997 Spatial analysis of land use by cattle herds in a village of the sudanese zone in Senegal. Application for grazing system improvement, XVIIIth International Grassland Congress, Winnipeg, Canada.
- ICKOWICZ A., USENGUMUREMYI J., BADIANE A., RICHARD D., COLLEYE F. ET DUPRESSOIR D., 1998 Interactions entre la jachère et les systèmes d'alimentation des bovins en zone soudanienne du Sénégal. Quels choix techniques pour quelle dynamique de développement ? dans C. Floret (ed.), Jachère et systèmes agraires, Niamey, Niger, ORSTOM.
- JAJYEGBA I.A., 1995 Changes in soil properties related to different land uses in part of the Nigerian semi-arid Savannah. *Soil Use and Management* 11, 84-89.
- JENKINSON D.S. ET AYANABA A., 1977 Decomposition of carbon-14 labelled plant material under tropical conditions. *Soil Science Society of America Journal* 41, 912-915.
- JONES J.A., 1990 Termites, soil fertility and carbon cycling in dry tropical Africa : a hypothesis. *Journal of Tropical Ecology* 6, 291-305.
- JONES M.J. ET WILD A., 1975 Soils of the West African savanna. Technical Communications, Farnham Royal, 246 p.
- JOUBE P., 1993 Usages et fonctions de la jachère dans les systèmes de production d'Afrique tropicale et du Maghreb. *Cahiers Agricultures* 2 (5), 308-317.
- JUO A.S.R., FRANZLUEBBERS K., DABIRI A. ET IKHILE B., 1995 Changes in soil properties during long-term fallow and continuous cultivation after forest clearing in Nigeria. *Agriculture Ecosystems and Environment* 56, 9-18.
- KAÏRE M., 1996 La production ligneuse des jachères et son utilisation par l'homme en zones soudano-sahélienne du Sénégal dans C. Floret (ed.), La jachère, lieu de production, Bobo Dioulasso, Burkina Faso, ORSTOM, pp. 1-17.
- KOTTOSAME J., WOOMER P.L., APPOLINAIRE M. ET LOUIS Z., 1997 Carbon dynamics in slash-and-burn agriculture and land use alternatives of the humid forest zone in Cameroon. *Agriculture Ecosystems & Environment* 65 (3), 245-256.
- LAMOTTE M. ET BOURLIERE F., 1978 Problèmes d'écologie : structure et fonctionnement des écosystèmes terrestres. Masson, Paris, 345 p.
- LAVELLE P., 1983 The soil fauna of tropical savannas. II. The earthworms dans F. Bourlière (ed.) "Tropical savannas", pp. 485-505. Elsevier Sc. Pub. Comp., Amsterdam.
- MANLAY R., 1994 Jachère et gestion de la fertilité en Afrique de l'Ouest. suivi de quelques indicateurs agro-écologiques dans deux sites de Sénégal. DEA, Université d'Aix-Marseille, 69 p. + ann. p.
- MASSE D., DEMBELE F., LE FLOCH E. ET YOSSO H., 1997 Impact de la gestion des feux de brousse sur la qualité des sols des jachères de courtes durées dans les régions soudanaises du Mali dans G. Renard, A. Neef, K. Becker et M. von Oppen (eds.), Soil Fertility Management in West African Land Use Systems, Niamey, Niger, Margraf Verlag, pp. 115-121.
- MAZOYER M.A.R.I. ET ROUDARD L., 1997 Histoire des agricultures du monde. Du néolithique à la crise contemporaine. Seuil, Paris, 534 p.
- MENAUT J.C. ET CESAR J., 1979 Structure and primary productivity of Lamto savannas. *Ecology* 60, 1197-1210.
- MOUREAU C., 1967 Influence de la température et de l'humidité sur les activités biologiques de quelques sols ouest-africains. *Cahiers ORSTOM, série Pédologie* 5 (4), 393-420.
- MULLER F., 1997 State-of-the-art in ecosystem theory. *Ecological Modelling* 100 (1-3), 135-161.
- MYERS R.J.K., PALM C.A., CUEVAS E., GUNATILLEKE I.U.N. ET BROSSARD M., 1994 The synchronisation of nutrient mineralisation and plant nutrient demand dans P.L. Woomer et M.J. Swift (eds.) "The Biological Management of Tropical Soil Fertility", pp. 81-116. Wiley-Sace Publication.
- NYE P.H. ET GREENLAND D.J., 1960 The soil under shifting cultivation. Technical Communications, Farnham Royal, 156 p.
- PALM C.A., SWIFT M.J. ET WOOMER P.L., 1996 Soil biological dynamics in slash-and-burn agriculture. *Agriculture Ecosystems & Environment* 58 (1), 61-74.
- PELISSIER P., 1966 Les paysans du Sénégal. Les civilisations agraires du Cayor à la Casamance, St Yrieix, 939 p.
- PERRY D.A., AMARANTHUS M.P., BORCHERS J.G., BORCHERS S.L. ET BRAINERD R.E., 1989 Bootstrapping in ecosystems. *Bioscience* 39 (4), 230-237.
- PIERI C., 1989 Fertilité des terres de savanes. Ministère de la Coopération et CIRAD-IRAT, Paris, 444 p.
- POTVIN C. ET ROFF D.A., 1993 Distribution-free and robust statistical methods : viable alternatives to parametric statistics ? *Ecology* 74 (6), 1617-1628.
- RUTHENBERG H., 1976 Farming systems in the tropics. Clarendon Press, Oxford.
- SANCHEZ P.A., 1987 Soil productivity and sustainability in agroforestry systems dans H.A. Steppler et P.K.R. Nair (eds.) "Agroforestry : a decade of development", pp. 205-223. International Council for Research in Agroforestry, Nairobi.
- SINGH K.D., 1984 Etudes sur les volumes et la productivité des peuplements forestiers tropicaux. FAO, Rome, 88 p.
- SWIFT M.J. ET ANDERSON J.M., 1994 Biodiversity and ecosystem function in agricultural systems dans E.D. Schulze et H.A. Mooney (eds.) "Biodiversity and ecosystem function", pp. 15-41. Springer Verlag, Berlin.
- TIESSEN H., FELLER C., SAMPAIO E.M.V. ET GARIN P., 1998 Carbon sequestration and turnover in semi arid savannas and dry forests. *Climatic Change* 40, 105-117.
- TOMLINSON H., TRAORE A. ET TEKLEHAIMANOT Z., 1998 An investigation of the root distribution of *Parkia biglobosa* in Burkina Faso. West Africa. using a logarithmic spiral trench. *Forest Ecology and Management* 107 (1-3), 173-182.
- VAN WAMBEKE A., 1991 Soils of the tropics. Properties and appraisal. McGraw-Hill, Inc., New-York, 343 p.