

Analyse de la durabilité de la fertilité acquise suite à des jachères arborées au Nord-Cameroun

R. Oliver⁽¹⁾, C.F. Njiti⁽²⁾ e tJ.M. Harmand⁽³⁾

(1) CIRAD - AMIS programme Agronomie, CIRAD-BP 5035 - 34032 Montpellier -France

(2) IRAD - Station de Bocklé - Garoua, BP 415 - Garoua Cameroun

(3) CIRAD-Forêts. CATHIE - Apartado 31 -7170 Turrialba - Costa Rica

Cette étude a bénéficié du soutien financier (1996-1999) de l'Action Incitative Interinstitutionnelle (AII) IRD - CIRAD - CNRS - INRA : " Biofonctionnements des sols tropicaux et gestion durable des terres ".

RÉSUMÉ

Diverses espèces ligneuses (*Acacia polyacantha*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Cassia siamea*), en peuplements monospécifiques, ont été utilisées comme jachères dans la région de Garoua au Nord Cameroun (climat soudanien, 1 050 mm). Le cycle biogéochimique des éléments majeurs de ces peuplements, analysé et quantifié par ailleurs, a montré des différences quant à l'exploitation de l'azote du sol et la capacité de stockage des éléments dans la biomasse aérienne, en partie exploitée, et souterraine, susceptible elle, d'être restituée par dégradation biologique lors des cultures succédant à la jachère. La sensibilité d'une culture de maïs à de tels précédents et leur impact sur les sols sont jugés en comparaison avec des parcelles en culture continue et en jachère herbacée pâturée et dégradée. Par référence à un état de départ avant mise en jachère, les caractères analytiques du sol montrent, après exploitation et brûlis des résidus sur la parcelle, une amélioration de la qualité du complexe adsorbant pour tous les précédents arborés. Par contre, seul le précédent *Acacia polyacantha* permet une amélioration sensible de l'état organique du sol. Des analyses effectuées avant brûlis soulignent l'impact important du brûlis dans l'état du complexe adsorbant de l'horizon de surface.

Les pertes d'éléments par lixiviation sont relativement modérées. La fourniture d'azote par le sol est essentiellement fonction des conditions climatiques et de la nature des résidus enfouis lors du labour ou présents dans le sol. On met en évidence des périodes d'immobilisation nette de l'azote pendant la période de croissance du maïs. Les racines d'*Acacia polyacantha* persistent plus longtemps que celles d'autres espèces dans le profil après exploitation des arbres. Les indicateurs d'activité biologique choisis ne font que refléter la richesse en matière organique des parcelles étudiées.

La culture de maïs montre des comportements différenciés selon les précédents, aussi bien dans le développement de la biomasse aérienne, la qualité de l'enracinement que la production de grains. Le précédent le plus performant et conservateur de la fertilité est *Acacia polyacantha*.

Mots clés

Agroforesterie, jachère arborée, *Ac. polyacantha*, *Euc. camaldulensis*, *Cas. siamea*, fertilité des sols, Nord Cameroun.

SUMMARY

SOIL FERTILITY CHARACTERISATION IN TREES FALLOW CULTIVATION SYSTEM IN NORTH CAMEROON

Different of tree species were used as monospecific stands during the fallow period in the Garoua region (North Cameroon, Sudanian climate with 1 200 mm rainfall).

As far as the ability of the system to use the N pool of the soil and to stock nutrients either in the above ground biomass (where they are partly exploited during fallow period) or in the beneath ground biomass (where they can be returned to the crop following the fallow period after biological degradation) is concerned, results obtained independently of the present study have shown that the bio-geochemical cycles of the major nutrients in these conditions depends on the tree specie used.

The response of a maize crop to such fallow practices and the impact of these practices on the soil fertility status were assessed by comparison either with plots under permanent cultivation or under cropping systems including a grassland fallow

Comparison of analytical results obtained on the soil before and after the fallow period shows that after the stand being cut and the debris burned in the field, the exchange properties of the soil are improved for all the tree species tested. An improvement of the soil organic status is noticed only where *Acacia polyacantha* was used.

Other analyses done before the burning of the debris demonstrate the strong effect of this burning on soil exchange properties.

Nutrients losses through lixiviation are moderate. The use of the N pool of the soil depends on climatic conditions and on the nature of the debris ploughed in or available in the soil. Periods of "apparent immobilisation" for mineral N are observed during the growing of the maize. Roots of *Acacia polyacantha* remain for a longer period in the soil after the trees have been cut and removed from the field than roots of the other species. The organic matter richness of the studied plots is closely reflected by soil fertility biological indicators.

The above ground biomass of the maize crop, its rooting system development and the grain yield depend greatly on the tree specie used during the fallow period. As far as fertility conservation and grain production are concerned, the best specie is *Acacia polyacantha*

Key-words

Agroforestry, trees fallow, *Ac. polyacantha*, *Euc. camaldulensis*, *Cas. Siamea*, soil fertility, North Cameroon.

RESUMEN

ANÁLISIS DE LA SUSTENTABILIDAD DE LA FERTILIDAD ADQUIRIDA DESPUÉS DE BARBECHOS ARBOREOS EN EL NORTE DE CAMERÚN

Diversas especies leñosas (*Acacia polyacantha*, *Cassia siamea*, *Eucaliptus camaldulensis*) en poblaciones monoespecíficos, se usaron como barbechos en la región de Garoua al Norte de Camerún (clima sudanés, 1050 mm.). El ciclo biogeoquímico de los elementos mayores de estas poblaciones, analizado y cuantificado por otra parte, mostró diferencias de explotación del nitrógeno del suelo y de capacidad de almacenamiento de los elementos en la biomasa aérea, en parte explotada, y subterránea, susceptible de ser restituidas por degradación biológica durante los cultivos que suceden al barbecho. La sensibilidad de un cultivo de maíz a estos precedentes y su impacto sobre los suelos se juzga en comparación con parcelas en cultivo continuo y en barbecho herbáceo, pastoreado y degradado. Con referencia a un estado inicial antes del barbecho, las características analíticas del suelo mostraron, después de la explotación y quemado de los residuos sobre la parcela, un mejoramiento de la calidad del complejo adsorbente para todos los precedentes arbóreos. En cambio, solo el precedente *Acacia polyacantha* permite un mejoramiento sensible del estado orgánico del suelo. Análisis efectuados antes del quemado muestran el impacto importante de la quema en el estado del complejo adsorbente del horizonte de superficie.

Las pérdidas por lixiviación son relativamente moderadas. El abastecimiento en nitrógeno por el suelo es esencialmente función de las condiciones climáticas y de la naturaleza de los residuos incorporados durante la labranza o presentes en el suelo. Se mostró periodos de inmovilización neta del nitrógeno durante el periodo de crecimiento del maíz. Las raíces de *Acacia polyacantha* persisten más tiempo que las de las otras especies en el perfil después de la explotación de los árboles. Los indicadores de actividad biológica elegidos reflejan solamente la riqueza en materia orgánica de las parcelas estudiadas. El cultivo de maíz muestra comportamientos diferentes según los precedentes, en el desarrollo de la biomasa aérea, la calidad de las raíces, y la producción de los granos. El precedente el mejor y conservador de la fertilidad es *Acacia polyacantha*.

Palabras claves

Agroforestería, árboles de barbecha, *Ac. polyacantha*, *Euc. camaldulensis*, *Cas. Siamea*, fertilidad de los suelos, Norte del Camerun.

Il est nécessaire, en zone de savanes d'Afrique de l'Ouest, de trouver des moyens d'assurer la pérennité d'une agriculture dont les possibilités d'investissement sont limitées (Milleville et Serpantié, 1994) et de satisfaire les besoins des agriculteurs en nourriture, en trésorerie mais aussi en bois de feu (Peltier, 1990). Ces exigences multiples, étaient anciennement satisfaites par une mise en jachère de durée variable de 1 à 5 ans par année de culture selon la fertilité du milieu (Pieri, 1989, Young, 1995) tant que la disponibilité en terres le permettait. La saturation progressive de l'espace rural oblige à trouver des alternatives à ce système et justifie les nombreux travaux sur les effets de la jachère naturelle et ses substituts permettant d'en réduire le temps, tout en préservant le statut de la terre (Jean, 1991, Hammassa et Coulibaly, 1994) et en procurant des revenus rendant attractives les techniques proposées (Séne, 1994). Cette technique n'est cependant pas la seule visant à régénérer la fertilité des terres. Récemment, Dugué (1998) analysant les stratégies paysannes en Afrique de l'Ouest dresse un large inventaire des techniques de préservation du « capital terre » utilisées qui vont, depuis un « pilotage » de la fertilisation minérale en fonction des états de la culture, jusqu'à l'aménagement du terroir pour conserver l'eau et le sol, en passant par la gestion des rotations et associations culturales intégrant des légumineuses (niébé, haricot, arachide), la gestion de la matière organique à partir de la fumure animale, et jusqu'à la préservation des parcs arborées et la mise en place de jachères arborées « améliorées ».

D'autres techniques de conservation du capital sol restent au stade des études ou des tests en milieu réel et ce, malgré des résultats prometteurs. Les raisons de ces difficultés d'adoption par le monde paysan peuvent être diverses: la pénibilité de leur mise en oeuvre dans le cas de la culture en couloirs (Schroth, 1994), le manque de référentiel technique et/ou de recul dans les résultats qu'on peut escompter pour l'aménagement des pâturages par des associations fourragères et la gestion de leur charge en bétail (César et Coulibaly, 1991) ou la mise en place de systèmes de culture utilisant les plantes de couvertures et tout particulièrement les légumineuses, (Azontondé et al., 1998), bien que de tels systèmes soient spontanément utilisés par les agriculteurs en Amérique latine (Triomphe, 1996).

En dehors de la culture en couloirs, les techniques agroforestières malgré ou à cause des implications socio-culturelles importantes comme l'embocagement du paysage par des haies vives à vocation de protection des parcelles, de fourrage ou de brise-vent, la plantation d'arbres à vocation multiples comme substitut de la jachère naturelle, semblent recevoir un accueil favorable par les paysans (Bertrand, 1993). Dans les zones à saison des pluies monomodale et d'une pluviosité suffisante (1200 mm) on a pu constater, au cours des 15 dernières années, le développement de ce type de plantations

ainsi qu'une demande pressante des agriculteurs en espèces épineuses, pour la confection de haies. Selon Young (1995) outre la protection contre l'érosion, les effets attendus des arbres sur le milieu sont de plusieurs ordres: augmentation des apports aux sols notamment par une amélioration des teneurs en matière organique, réduction des pertes du sol par la récupération profonde d'éléments nutritifs et les modifications de la nature et des taux de décomposition de la matière organique, modification des propriétés physiques et de l'environnement biologique du sol par les retombées de litière, la présence des racines et ses conséquences sur l'activité de la faune du sol.

Il est donc nécessaire d'orienter le choix des agriculteurs vers des espèces répondant à la fois à la préoccupation de restauration de la fertilité des terres et à leurs stratégies d'utilisation de ces productions, tout en veillant à ne pas diffuser des espèces qui risqueraient de bouleverser l'environnement, comme par exemple *Leucaena leucocephala*, dont on a compté plus de 100 resemis spontanés au m² en région centre de Côte d'Ivoire.

C'est pour quantifier la productivité de telles jachères, leurs effets sur le sol et la sensibilité des cultures annuelles mises en place après leur exploitation que des essais comparant divers types de jachère arborée et des jachères naturelles ont été mis en place dans la région de Garoua au Nord Cameroun. Les enseignements tirés de ce dispositif ont fait l'objet des travaux de thèse de Harmand (1997) et d'une publication portant sur l'impact sur le milieu et les cultures de 4 années de jachère (Harmand et Njiti, 1998). Le présent article fera le point de l'évolution de ces parcelles et de leur productivité pour une durée de la jachère arborée de 5 ans, ainsi que de la durabilité des effets induits par cette pratique pour trois années de culture annuelle.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Cadre de l'étude et dispositif expérimental

L'étude a été conduite dans la zone de savanes du Nord-Cameroun sur le site de Ngong au Sud de Garoua. Le climat y est typiquement soudanien avec une saison sèche très marquée de novembre à mars. La pluviosité moyenne annuelle est de 1050 mm et la température de 27 °C environ avec une période un peu plus chaude en saison sèche.

Le sol est de type ferrugineux tropical profond (Acrisol) formé sur grès du Crétacé moyen. Très sableux en surface, le sol s'enrichit en argiles avec la profondeur.

L'essai de Ngong a été installé sur un champ abandonné par les paysans car épuisé par une dizaine d'année de culture continue, les caractéristiques physico-chimiques (tableau 1) indiquent une pauvreté générale du terrain avec de faibles

teneurs en matière organique et des taux particulièrement faibles en potassium échangeable même pour des sols sableux (Villemin, 1987).

Les arbres ont été plantés en 1989 et les parcelles cultivées en arachide cette même année, puis en cotonnier l'année suivante, et ont reçu les doses d'engrais préconisées par la vulgarisation. La mise en jachère a eu lieu en 1991. L'étude s'appuie sur un dispositif expérimental en blocs comparant plusieurs types de gestion des parcelles :

- culture continue (CULT);
- mise en place d'*Eucalyptus camaldulensis* à l'écartement de 4 m x 4 m (EUC);
- mise en place d'*Acacia polyacantha* à l'écartement de 4 m x 4 m (ACP);
- jachère spontanée herbacée protégée de la pâture à partir de 1991, dominée par *A. gayanus* (JHP) .

Le dispositif, protégé contre le feu et le pâturage, comporte trois répétitions dont deux ont été exploitées et remises en culture en 1996 après 5 ans de jachère. Les dimensions des parcelles unitaires sont de 28 m x 28 m, hormis celles de JHP qui sont de 28 m x 14 m.

Au voisinage immédiat de ce dispositif statistique et dans une aire protégée contre le feu et le pâturage, une plantation de *Cassia siamea* (CAS) a été installée en 1990 et mise en jachère en 1992. Son exploitation et sa remise en culture ont eu lieu en 1996 après 4 ans de jachère. Cette parcelle portait, avant l'implantation des jeunes plants de *Cassia*, un *Karité* (*Vitellaria paradoxa*) dont l'impact sur la fertilité sera à prendre en compte. Pour pallier le problème de dimension des parcelles, une jachère herbacée naturelle en place depuis 10 ans mais pâturée et brûlée (JHD) a été intégrée à l'étude en 1996.

Lors de l'exploitation des arbres en 1996, le bois de diamètre supérieur à 3 cm a été sorti des parcelles et les résidus d'exploitation ont été étalés et brûlés avec la litière.

Chaque parcelle a été subdivisée en deux moitiés dont l'une a été mise en culture de cotonnier et l'autre de maïs, pour

respecter les deux principales spéculations des systèmes de culture de la zone. En plus, chaque parcelle élémentaire a été subdivisée perpendiculairement à la subdivision selon la spéculacion choisie, en parcelle avec et sans apport d'engrais minéral à la dose préconisée par la vulgarisation dans la zone, soit quelques jours après le semis, 100 kg ha⁻¹ de complexe NPKSB (15, 20, 15, 6, 1) avec en plus 50 kg ha⁻¹ d'urée dans le cas du maïs. Cette fertilisation a été complétée 40 jours après semis par un apport de 50 kg ha⁻¹ d'urée pour le cotonnier et 100 kg ha⁻¹ pour le maïs. Une partie de la surface des parcelles sans engrais est réservée pour des prélèvements destructifs en cours de culture.

On dispose donc pour étudier l'effet du type de jachère sur les cultures de quatre types de précédents dans un dispositif à deux blocs (CULT, JHP, EUC et ACP), et, hors dispositif, de deux répétitions du précédent « JHD » et d'une correspondant au précédent *Cassia* (CAS).

Techniques et méthodes de suivi des paramètres édaphiques

En juin 1989, avant la mise en place de l'essai, des prélèvements de terre pour analyse physico-chimique ont été effectués sur chacune des parcelles (horizons 0-20 et 20-40 cm) à partir de quatre prélèvements par parcelle. De nouveaux prélèvements ont été effectués en 1995, après 4 ans de jachère, sur les horizons 0-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm; dans chaque parcelle 2 échantillons composites de 8 prélèvements ont été réalisés. On a effectué des prélèvements selon la même procédure en 1996 dans les horizons 0-10 cm, 10-20 cm et 20-30 cm au moment de la mise en place des cultures sur le terrain, après labour et avant tout apport de fertilisant. A la fin de la seconde saison de culture (mai 1998) des prélèvements ont été faits sur les zones fertilisées et non fertilisées de chaque parcelle anciennement en jachère.

Des systèmes de collecte de la solution du sol de type « Tensionics » (Moutonnet et al., 1993) ont été installés à 1 m de profondeur sur les parcelles sans apport d'engrais minéraux

Tableau 1 - Caractéristiques physico-chimiques du terrain d'essai avant mise en place de la jachère arborée (1989). D'après Harmand et Njiti (1998).

Table 1 - Ngong field analytical characteristics at the beginning of the tree fallow period.

Horizon	argiles + limons fins	C total	N total	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	CEC
(cm)	%	%	mg g ⁻¹	méthode cobaltihexammine (cmol kg ⁻¹)			
0-20	9,2	2,5	0,30	0,79	0,18	0,06	1,28
20-40	11,7	1,8	0,24	0,49	0,12	0,04	0,84
40-60	20,3	1,6	0,23	0,93	0,28	0,07	1,59
60-70	29,9	1,7		1,79	0,56	0,07	2,66
70-90	36,4	1,6		2,29	0,80	0,06	3,38

au moment de la première culture suivant la période de jachère arborée. La solution du sol a été collectée à intervalles variant de 10 jours à 1 mois pendant toute la saison pluvieuse et analysée pour les teneurs en N-NH_4^+ ; N-NO_3^- ; Ca^{++} ; Mg^{++} et K^+ .

Un suivi de l'azote minéral et de l'azote minéralisable in situ a été effectué pendant chacune des saisons de culture selon la méthode utilisée par Bernhard-Reversat (1982) et Harmand (1997). La technique d'extraction directement sur le terrain, mise au point dans les laboratoires du CIRAD et suivie d'un dosage différé des formes d'azote par colorimétrie automatique a été utilisée. Ce suivi a été limité aux horizons 0-10 et 10-20 cm et aux périodes de culture des parcelles et ne recouvre donc pas la totalité des saisons des pluies concernées.

Des observations ont été faites sur les parcelles concernant l'activité des termites par des piégeages à l'aide de récipients en terre cuite contenant un mélange de bouse de vache séchée et de pailles de maïs hachées, l'ensemble étant humidifié, disposé la face sur les parcelles et laissé en place une nuit. L'activité biologique in situ a été appréciée par la mesure du CO_2 dégagé sur une aliquote de la terre fine collectée pour le suivi de N minéral, et l'activité enzymatique (uréase et protéase) des échantillons de terre fine remis à incuber pendant deux semaines dans des conditions optimales (30 °C, humidité correspondant à pF 2,0) a été mesurée selon les techniques de Kandeler décrites par Schinner et al (1995). La biomasse microbienne a été appréciée au laboratoire par la technique de fumigation-extraction avec dosage de l'azote alpha-aminé selon la technique de Olhinger (1995).

Les analyses de caractérisation physico-chimiques classiques des terres ont été réalisées selon les méthodes adaptées aux sols tropicaux en usage au CIRAD ; c'est ainsi que le complexe absorbant (bases échangeables et capacité d'échange CEC) a été déterminé par la méthode d'Orsini et Rémy (1976) et le phosphore assimilable selon la méthode Olsen modifiée Dabin (1967).

Suivi des cultures

Le maïs et le cotonnier ont coexisté en rotation annuelle sur les parcelles, la subdivision initiale permettant la présence des deux cultures côte à côte sur le terrain. Les observations ont porté, pour les deux espèces sur la croissance des plantes, leur état nutritionnel et la production des parcelles, mais seuls les résultats relatifs au maïs seront présentés ici. Les calculs de bilan hydrique des cultures ont été effectués par référence au modèle de Franquin-Forest (1977) à l'aide du logiciel SARRA (Baron et al., 1995), ce qui permet d'apprécier le flux de drainage à la cote d'implantation des tensionics. Les données pluviométriques utilisées sont celles mesurées sur le site maïs l'ETP utilisée correspond au site régionalement le plus proche.

Biodégradation des racines en fin de phase de jachère

Lors de l'exploitation des arbres, des racines des diverses espèces ligneuses et des graminées ont été collectées, séchées à 60 °C puis triées par classe de diamètre (< 2 mm ; 2-10 mm ; 10-30 mm ; 30-70 mm). En début de seconde saison de culture trois séries de quatre sachets contenant de 1 à 8 gramme selon la classe de diamètre racinaire concernée ont été placées dans deux types de sacs en toile métallique à mailles étroites excluant l'action de l'essentiel de la macrofaune pour la première, et à mailles suffisamment lâches, autorisant cette action pour la seconde. Ces sacs (litter bags) ont ensuite été enfouis à 10 cm de profondeur, sur les parcelles correspondant au précédent jachère de même nature que les racines concernées. La biodégradation des racines a été étudiée en échantillonnant ces sacs en fin de saison des pluies, puis en début de saison des pluies suivante et en fin de cette dernière saison.

Les racines ont alors été séparées de la terre, séchées à 60 °C et pesées. La contamination par les particules de sol a été quantifiée par calcination et une correction de poids appropriée a été effectuée pour calculer la proportion de racines non décomposées au moment de l'échantillonnage.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Bilan de la phase de mise en jachère

L'exploitation de la sole arborée constitue un état de départ pour les cultures annuelles mises en place. Il est donc utile de rappeler ici les principaux résultats concernant le fonctionnement des peuplements de jachère. (Harmand, 1997).

La production annuelle de bois est de 5,3 t ha⁻¹ pour les jachères en Acacia, 5,7 tonnes pour celles en Eucalyptus et de 3,8 tonnes pour la parcelle en Cassia. La production globale de litière, majoritairement constituée par les feuilles varie entre 3 et 5 t ha⁻¹ an⁻¹. Cette production est à compléter par celle de la strate herbacée dont la composition spécifique et la biomasse varient dans le temps et selon la nature du couvert arboré. L'année avant mise en culture, cette biomasse herbacée était de 2,2 t ha⁻¹ sous Acacia, 0,2 t sous Cassia 3,5 t sous Eucalyptus, 4,5 t dans le cas de la jachère naturelle non protégée, et de 7,9 t dans celui de cette même jachère protégée. En conclusion de la quantification et de l'analyse minérale détaillée des divers étages de cette biomasse (racines, parties constitutives des arbres, litière, strate herbacée) Harmand souligne que le très fort développement racinaire de l'Acacia correspond à sa forte capacité à reconstituer un horizon organique de surface. Il note aussi que le Cassia se caractérise par une mauvaise efficacité d'utilisation de N et K et par une capacité

importante de stockage des éléments dans les parties souterraines tandis que l'Eucalyptus montre une forte accumulation de Ca et de P dans tous les compartiments de sa phytomasse aérienne.

Pour préciser le fonctionnement biologique du sol dans les jachères, il ressort de l'étude du cycle de l'azote (Harmand, 1997; Harmand et Njiti, 1998), que le stockage de l'azote dans la jachère à Acacia, à la fois dans les différents compartiments de bio-

masse en particulier les racines et dans la matière organique du sol, est beaucoup plus important que dans les autres systèmes (tableau 2). Ce phénomène s'explique par la fixation symbiotique et par un fort recyclage de l'azote. L'important recyclage externe de l'azote est caractérisé par la grande quantité d'azote apportée par la litière, par la forte minéralisation de l'azote du sol (tableau 2) et par le développement considérable en surface du système racinaire de l'Acacia absorbant l'azote minéralisé.

Tableau 2 - Eléments du cycle de l'azote dans les peuplements de jachère (d'après Njiti et Harmand, 1998).

Table 2 - Annual nitrogen cycle data during the tree fallow period.

	Type de jachère			
	JHP*	EUC	ACP	CAS
Minéralisation de N du sol en 1995				
N ($\text{kg ha}^{-1} \text{an}^{-1}$)	26 c	40 b	166 a	25 c
% de N total du sol par an	3,6 c	6,1 b	17 a	3,1 d
Stockage de N dans la phytomasse racinaire en 1995 (N kg ha^{-1})				
racines fines ($\text{N} < 2 \text{ mm}$)	55 c	52 c	190 a	130 b
grosses racines + souches	-	54	152	35
Total racines	55	106	342	165

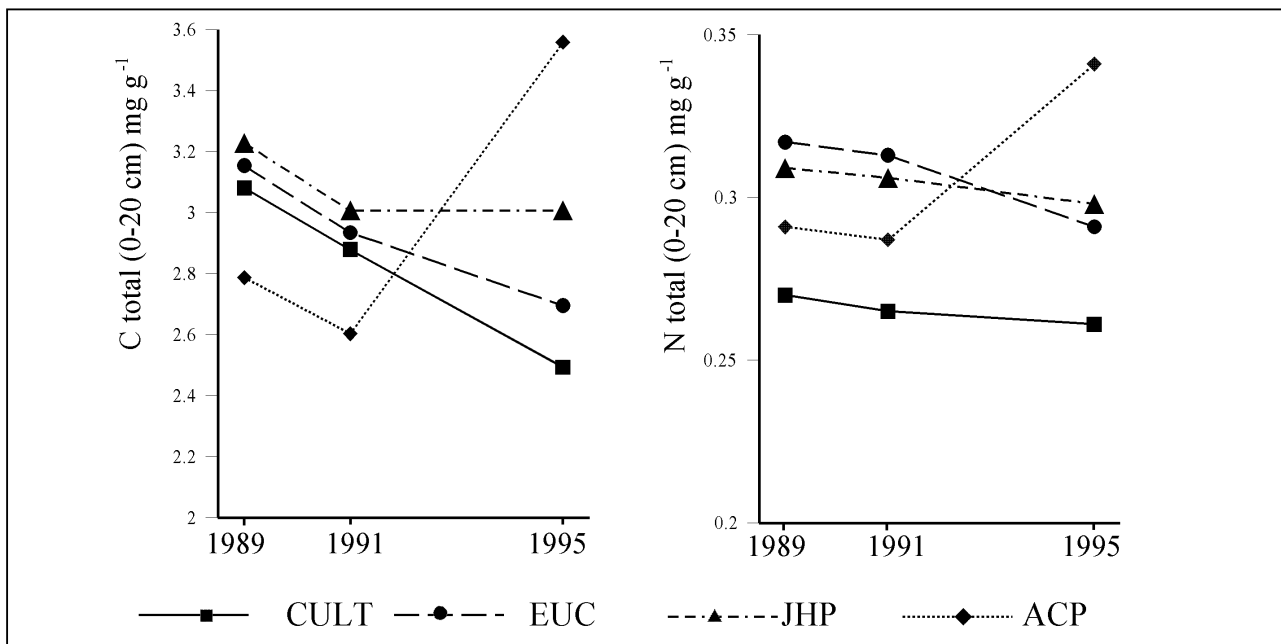
JHP : jachère herbacée protégée; EUC : Eucalyptus camaldulensis; ACP : Acacia polyacantha; CAS : Cassia siamea

* : Pour une même variable deux valeurs affectées de la même lettre ne diffèrent pas par le test de Newman-Keuls à $P = 0,05$.

Figure 1 - Variation des teneurs en carbone et azote total de l'horizon 0-20 cm entre 1989 et 1995 (Harmand et Njiti, 1998).

(CULT : culture continue; EUC : Eucalyptus camaldulensis; JHP : jachère herbacée protégée; ACP : Acacia polyacantha)

Figure 1 - Total C and N changes in the 0-20 cm level between 1989 and 1995.



Le recyclage de l'azote est lié aux processus de minéralisation et fragmentation de la litière aérienne et racinaire qui donnent lieu à une incorporation de matière organique au sol sous forme de débris végétaux, responsable de l'augmentation significative des taux de C et N du sol sous *Acacia* (figure 1) (Harmand, 1997). Cette forte dynamique de l'azote n'existe pas dans les autres types de jachère où l'incorporation de matière organique au sol est beaucoup plus faible. D'ailleurs sous *Eucalyptus* et jachère herbacée, on n'observe pas d'amélioration significative des stocks de C et N du sol. Sous *Cassia*, le blocage de minéralisation de l'azote du sol (tableau 2) fait suite à une immobilisation de l'azote disponible du sol dans la biomasse, en particulier la biomasse souterraine. Ce phénomène, qui provoque un arrêt de croissance ainsi que des dépérissements d'individus, serait dû à une toxicité des racines en décomposition ou des exsudats racinaires vis à vis des agents bactériens de minéralisation de l'azote (Harmand, 1997). Par conséquent le peuplement de *Cassia* développe rapidement une stratégie de conservation de l'azote du sol par une minéralisation limitée. Cette faiblesse des flux d'azote entraîne une plus faible incorporation des débris végétaux au sol que sous *Acacia* (Harmand, 1997). Après éclaircie naturelle des peuplements de *Cassia*, on a pu observer dans d'autres situations

une reprise de croissance des individus restants dûe, vraisemblablement à une reprise de minéralisation de l'azote du sol consécutive à la mortalité de certains individus.

Les diverses jachères ont donc non seulement des productions de matière organique différentes mais aussi des stratégies très différentes d'utilisation et de recyclage des éléments minéraux, ce qui se traduit par des états du milieu différenciés avant la remise en culture des parcelles.

RÉSULTATS ET DISCUSSION.

Evolution des principales caractéristiques physico-chimiques du sol.

Harmand et Njiti (1998) ont montré que les différences entre les caractéristiques du sol pour les modes de gestion du sol étaient limitées à la profondeur 40 cm et pour les types de jachère à la profondeur 20 cm. Nous présentons ici les caractéristiques de l'horizon 0-10 cm, d'une part en 1995 après 4 ans de jachère (tableau 3) et d'autre part en juillet 1996 après exploitation des peuplements et labour à la remise en culture (tableau 4).

Tableau 3 - Caractéristiques physico-chimiques de l'horizon 0-10 cm après 4 ans pour chaque type d'occupation des sols sur l'essai de Ngong.

Table 3 - Analytical characteristics of the topsoil (0-10 cm) after 4 years for each land use type at Ngong.

Parcelle (0-10 cm)	pH eau	C total %	N total %	P. Olsen 3 mg g ⁻¹	Ca ⁺⁺ méthode cobaltihexammine (cmol kg ⁻¹)	Mg ⁺⁺	K ⁺	CEC
CULT*	6,02 b	0,27 b	0,26 c	10,9 a	0,90 b	0,18 c	0,07 b	1,33 b
JHD	6,30 a	0,32 ab	0,34 ab	4,6 b	1,01 a	0,32 b	0,06 b	1,54 ab
EUC	6,39 a	0,29 b	0,32 bc	4,9 b	1,07 a	0,30 b	0,10 a	1,66 ab
ACP	6,38 a	0,42 a	0,39 a	5,5 b	1,32 a	0,42 a	0,08 ab	2,04 a
CAS**	6,80	0,42	0,45	4,5 b	1,65	0,41	0,11	2,22

CULT : culture continue; JHD : jachère herbacée pâturée ; EUC : *Eucalyptus camaldulensis*; ACP : *Acacia polyacantha*; CAS : *Cassia siamea*

** : hors dispositif pour l'ANOVA. ; Deux valeurs affectées de la même lettre pour une variable ne diffèrent pas à P = 0,05.

Tableau 4 - Caractéristiques physico-chimiques de l'horizon 0-10 cm à la remise en culture des parcelles.

Table 4 - Analytical characteristics of the topsoil (0-10 cm) at the beginning of maize-cotton cropping system.

Parcelle (0-10 cm)	pH eau	C total %	N total %	P. Olsen 3 mg g ⁻¹	Ca ⁺⁺ méthode cobaltihexammine (cmol kg ⁻¹)	Mg ⁺⁺	K ⁺	CEC
CULT*	6,0 c	0,30 b	0,32 b	13,5	0,96 d	0,27 c	0,08 a	1,31 b
JHD	6,4 b	0,47 a	0,49 a	9,9	1,35 c	0,44 ab	0,11 ab	2,00 a
EUC	7,7 a	0,42 a	0,39 ab	10,9	2,22 a	0,39 b	0,11 a	2,41 a
ACP	6,6 b	0,49 a	0,44 a	10,0	1,71 b	0,48 a	0,08 a	2,25 a
CAS**		0,52	0,41	7,0	2,02	0,42	0,09	2,43

CULT : culture continue; JHD : jachère herbacée pâturée ; EUC : *Eucalyptus camaldulensis*; ACP : *Acacia polyacantha*; CAS : *Cassia siamea*

** : hors dispositif pour l'ANOVA. ; Deux valeurs affectées de la même lettre pour une variable ne diffèrent pas à P = 0,05

En 1995, en accord avec les résultats de l'ANOVA, les différents modes de gestion du sol se classent par rapport à leur action sur le carbone et l'azote du sol selon l'ordre décroissant suivant :

Acacia > jachère spontanée herbacée > Eucalyptus > culture continue

De façon générale, en 1995, les caractéristiques du complexe adsorbant : CEC, teneurs en Mg^{++} et Ca^{++} sont corrélées positivement avec le carbone organique ($0,7 < r < 0,91$ et $P < 0,001$). Les variations significatives des teneurs en carbone induites par les différents modes de gestion du sol se répercutent par conséquent sur les caractéristiques minérales qui montrent cependant des variations moins rapides et pas toujours significatives. La hiérarchisation des traitements jachères n'apparaît de façon significative que pour quelques composantes : Mg^{++} , K^+ (tableau 3). On note d'ailleurs une plus forte teneur en Mg échangeable sous Acacia. Les teneurs en phosphore assimilable sont toujours faibles selon Boyer (1982).

En 1996, après 5 ans de jachère, les parcelles ont été exploitées et le bois de diamètre supérieur à 3 cm a été enlevé des parcelles. Les résidus d'exploitation ont été brûlés en février 1996 et le labour a été effectué en juillet 1996. Le prélèvement pour analyse de sol a été effectué juste après le labour peu profond (environ 15-20 cm) sur un sol très ameubli et où les résidus d'exploitation et de brûlis de la sole arborée ont été incorporés au sol (tableau 4).

Le tableau 4 indique que les caractéristiques du complexe adsorbant diffèrent peu entre les précédents arborés. Après

Eucalyptus, le brûlis des résidus permet, par la restitution des cendres au sol de doubler le taux de Ca échangeable et de P assimilable (tableaux 3 et 14). L'effet sur le pH est également spectaculaire. Cette correction de l'acidité entraîne une augmentation de la CEC (Fallavier, 1996) qui permet d'obtenir le niveau le plus élevé pour tous les précédents. Après Eucalyptus, la masse de résidus constituée de la litière au sol, de la strate herbacée et des branches d'arbres représente deux fois celle des autres précédents arborés (Harmand, 1997). Pour ces derniers, la masse de cendres est moins importante et par conséquent l'effet du brûlis est moins marqué. Sous jachère herbacée, l'effet du brûlis est plus faible que dans les précédents arborés ; il en résulte un plus faible taux de Ca échangeable et une plus faible somme des bases du sol au moment de la remise en culture.

En 1998, (tableau 5) les différences entre traitement subsistent. Néanmoins, on observe une certaine diminution des valeurs qui se manifeste différemment selon les précédents et l'apport ou non d'engrais.

Dans le cas de la jachère herbacée protégée on retournerait en deux cultures à un niveau voisin de celui de CULT pour ce qui est de la « qualité » du complexe adsorbant.

Pour le précédent CAS, dont la fertilité caractérisée en 96 est située à un niveau supérieur aux autres précédents, la fertilité serait conservée. Cette fertilité est peut être en partie un héritage de la présence du karité sur la parcelle antérieurement à la mise en place des Cassia.

Cette analyse physico-chimique a été complétée en 1996 par des observations du profil cultural pour les traitements

Tableau 5 - Caractéristiques physico-chimiques de l'horizon 0-10 cm du site d'essai selon les précédents «jachère» après deux cultures de maïs.

Table 5 - Analytical characteristics of the topsoil (0-10 cm) after two years of maize cropping for each «fallow» type.

Parcelle (0-10 cm)	pH eau	C total %	N total %	P. Olsen 3 mg g ⁻¹	Ca ⁺⁺ méthode cobaltihexammine (cmol kg ⁻¹)	Mg ⁺⁺	K ⁺	CEC
CULT	4,95	0,26	0,27	12,6	0,70	0,19	0,07	1,04
CULT	4,93	0,27	0,31	11,1	0,63	0,21	0,07	1,00
JHD	5,15	0,34	0,40	6,5	1,04	0,29	0,05	1,36
JHD	5,48	0,45	0,38	7,1	1,41	0,33	0,08	1,80
JHP*	5,13	0,30	0,32	9,4	0,95	0,26	0,08	1,28
JHP*	5,20	0,32	0,32	10,2	1,00	0,26	0,08	1,33
EUC	6,35	0,33	0,36	14,6	1,57	0,25	0,08	1,93
EUC	6,38	0,37	0,33	24,3	1,64	0,24	0,07	1,97
ACP	5,83	0,46	0,4	9,2	1,52	0,32	0,07	1,90
ACP	5,48	0,48	0,45	9,8	0,98	0,23	0,06	1,32
CAS	5,95	0,36	0,32	8,6	1,47	0,23	0,08	1,87
CAS	6,50	0,44	0,41	17,2	2,10	0,31	0,12	2,62

CULT : culture continue ; JHD : jachère herbacée pâturée ; JHP : jachère herbacée protégée ; EUC : Eucalyptus camaldulensis ; ACP : Acacia polyacantha ; CAS : Cassia siamea

apparemment les plus contrastés. Trois fosses pédologiques ont été décrites jusqu'à 1 m de profondeur après les précédents Acacia, Eucalyptus et jachère non protégée (Hien, 1996).

Dans le cas des précédents arborés l'épaisseur de l'horizon Ap est plus grande: 25 cm contre 13 cm pour la JHD. La couleur de cet horizon y est indicatrice d'une meilleure teneur en éléments organiques. La structure est mieux développée et on y note la présence de pores inter-agrégats alors que dans le cas de la JHD les pores sont peu nombreux. De même, la présence de racines actives ou mortes et les traces d'activité biologique (termites, vers de terre) diffèrent selon les horizons avec un classement acacia > eucalyptus >> jachère herbacée pâturée.

Ces mêmes différences se retrouvent dans le cas de l'horizon A toujours plus épais pour les précédents arborés (25-60 cm) au lieu de (13-50 cm) pour la JHD et où les racines et les pores sont plus nombreux ainsi que les traces d'activité biologique. Dans le cas de JHD, le tassement du sol par le bétail, lié au surpâturage est certainement responsable de ce moins bon état structural du sol.

Quels que soient les précédents, la stabilité structurale est très faible à moyenne comme le prouve le délitage en moins de 5 minutes des mottes placées dans de l'eau distillée. La texture d'ensemble, toujours très grossière n'est jamais un obstacle à la pénétration des racines dans un sol humide. La structure de surface est améliorée dans les parcelles à précédent ligneux. Le ruissellement n'est sensible que dans la parcelle anciennement en jachère non protégée. Dans certaines parcelles, on observe, sous l'action de la pluie, la formation d'une croûte de battance souvent recouverte d'une fine pellicule de sable. Cela est surtout visible dans la jachère herbacée pâturée et dans une moindre mesure dans les parcelles en culture continue et avec précédent eucalyptus.

Lixiviation des éléments minéraux.

Le bilan hydrique effectué globalement pour le site indique un drainage non négligeable (tableau 6): 406 mm pour 1996 et 495 mm pour 1997. Une part de ce drainage survient avant la

mise en place des cultures. Les prélèvements effectués à l'aide des tensionics tout au long de la saison de culture permettent d'apprécier l'évolution des teneurs et les quantités d'éléments minéraux passant à la cote d'implantation de 1 m.

Le drainage semble donc être une constante de cette zone de grès arénacé. On peut, à partir des quantités drainées et des concentrations de la solution du sol (tensionics) estimer la lixiviation des principaux éléments (tableau 7).

Les calculs effectués sous-estiment vraisemblablement la lixiviation car le pic de minéralisation de la matière organique (Birch, 1958) consécutive à la reprise des pluies doit se traduire par une teneur appréciable en nitrates pendant les épisodes drainant des mois de mai et juin (figure 2). Toutefois, la lixiviation de l'azote nitrique reste limitée et celle du calcium conforme aux quantités citées par Pieri (1983) au Sénégal ou Poss (1991) au Togo. Les teneurs mesurées en magnésium et surtout en potassium dans les tensionics conduisent à des lixiviations négligeables en ces éléments.

Les parcelles les plus dégradées (CULT, JHD) montrent, en première année, les pertes en $N-NO_3^-$ les plus faibles, tandis que les précédents arborés qui correspondent aux fortes minéralisation d'azote du sol avant exploitation de la sole arborée correspondent aussi aux lixiviations les plus élevées.

Tableau 6 - Pluie et drainage annuels sur le site de Ngong en 1996 et 1997.

Table 6 - Annual rainfall and drainage at Ngong site in 1996 and 1997.

	Pluie (mm)	Drainage (mm)	
		avant semis (% pluie)	global (% pluie)
1996	1 058	60 (6)	406 (38)

Tableau 7 - Lixiviation estimée ($kg\ ha^{-1}$) pour l'azote nitrique et le calcium selon les précédents.

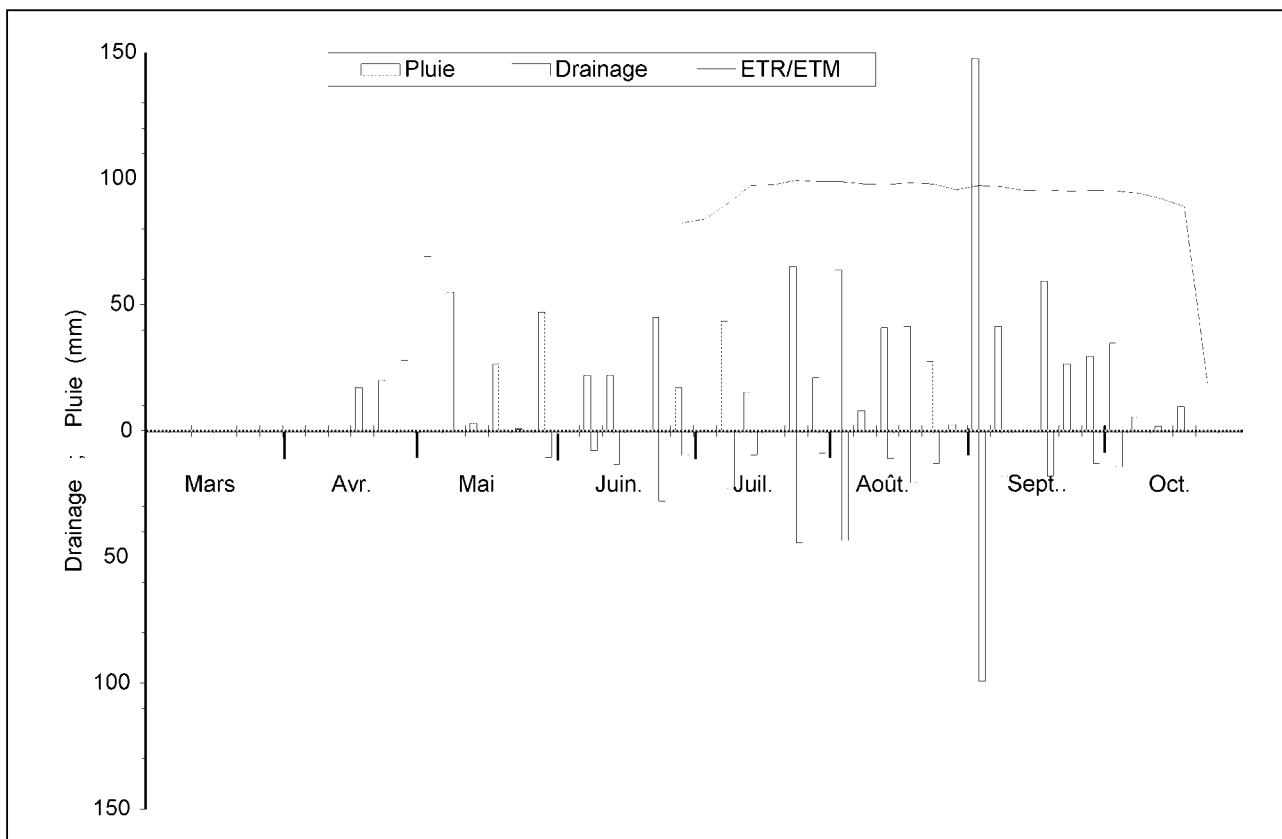
Table 7 - Estimated $N-NO_3^-$ and Ca^{++} leaching ($kg\ ha^{-1}$) according to the treatments.

Elément	Année	Type de précédent				
		CULT	JHD	EUC	ACP	CAS
$N-NO_3^-$	1996	3	< 1	14	11	3
	1997	9	6	6	15	17
Ca^{++}	1996	31	22	42	36	30
	1997	28	31	39	48	22

CULT: culture continue; JHD: jachère herbacée pâturée; EUC: Eucalyptus camaldulensis; ACP: Acacia polyacantha; CAS: Cassia siamea

Figure 2 - Drainage vertical à 1m et satisfaction des besoins en eau du maïs à Ngong en 1996. Bilan hydrique simulé (SARRA) pour un maïs de cycle 110 jours.

Figure 2 - : Vertical drainage at 1m depth and degree of satisfaction of cropwater needs at Ngong in 1996 for maize (D and ETR/ETM according SARRA software for a 110 days maize cycle).



Fourniture d'azote par le sol

Les teneurs en azote minéral dans l'horizon 0-20 cm (figure 3) montrent des évolutions et niveaux différents selon les campagnes.

Juste après l'exploitation des jachères, les teneurs en azote minéral sont les plus fortes, en début de campagne dans les parcelles avec CAS et ACP. On ne note pas, par la suite, de hiérarchisation nette entre traitements. Lors de la seconde campagne de mesure, les teneurs en azote minéral sont toujours inférieures à $3,0 \text{ mg kg}^{-1}$ de N et les différences entre traitements ne sont pas sensibles. En troisième culture, le diagramme est du même type que pour la première culture mais l'amplitude des variations y est moins forte avec, cette fois, de plus fortes teneurs passagères pour CAS et JHD.

La vitesse de minéralisation de l'azote a été évaluée à partir du suivi de l'azote minéral et de l'azote minéralisable in situ sur l'horizon 0-10 cm :

La figure 4 présente son évolution pour les campagnes 1996 et 1998 (1997 n'est pas présenté car les valeurs sont toujours

très faibles). En première culture, la vitesse de minéralisation évolue différemment selon les précédents. Pendant les six premières semaines suivant le labour de préparation des parcelles, la vitesse de minéralisation nette est soit négative (immobilisation nette), soit passe par une phase ascendante avant de décroître. Cette phase préliminaire d'immobilisation de l'azote pourrait être expliquée par le « priming effect » consécutif à l'enfouissement des adventices lors du labour de préparation des parcelles (cas des précédents Eucalyptus et Acacia) en plus de produits facilement biodégradables comme les racines fines de la jachère et les débris organiques du sol. Cette phase n'est pas observée dans le cas du précédent Cassia où l'effet allélopathique limiterait le développement de la strate herbacée (Harmand 1997) ; sa durée est prolongée dans le cas de CULT. Pendant cette période où les besoins azotés du maïs sont les plus importants, la fourniture d'azote est, en moyenne de $0,5 \text{ mg N kg}^{-1} \text{ j}^{-1}$; pour les trois précédents arborés.

Les vitesses de minéralisation calculées pour la seconde campagne sont toujours inférieures à $0,2 \text{ mg N kg}^{-1} \text{ j}^{-1}$ sans

Figure 3 - Dynamique de N minéral (moyenne de chaque traitement sur l'horizon 0-20 cm) à Ngong après remise en culture des jachères. (CULT : culture continue ; EUC : Eucalyptus camaldulensis ; JHD : jachère herbacée pâturée ; ACP : Acacia polyacantha ; CAS : Cassia siamea)

Figure 3 - N mineral dynamics at Ngong during the maize-cotton cropping years (mean values for the treatments of 0-20 cm level).

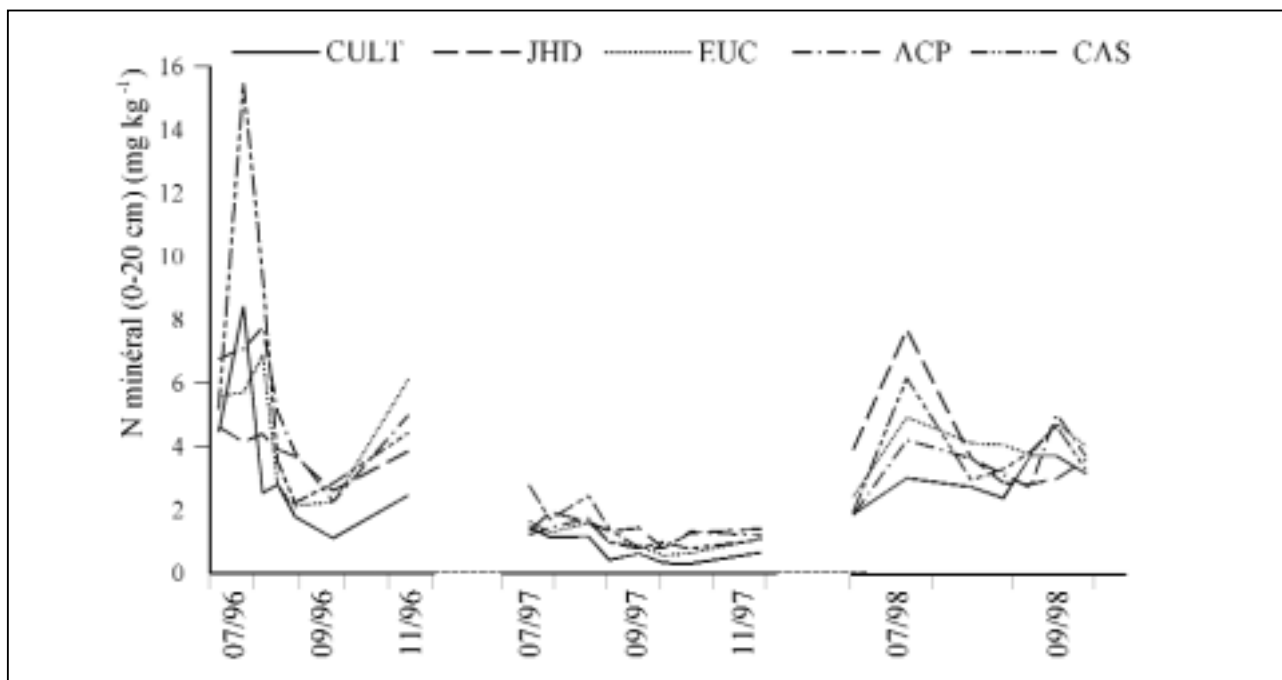
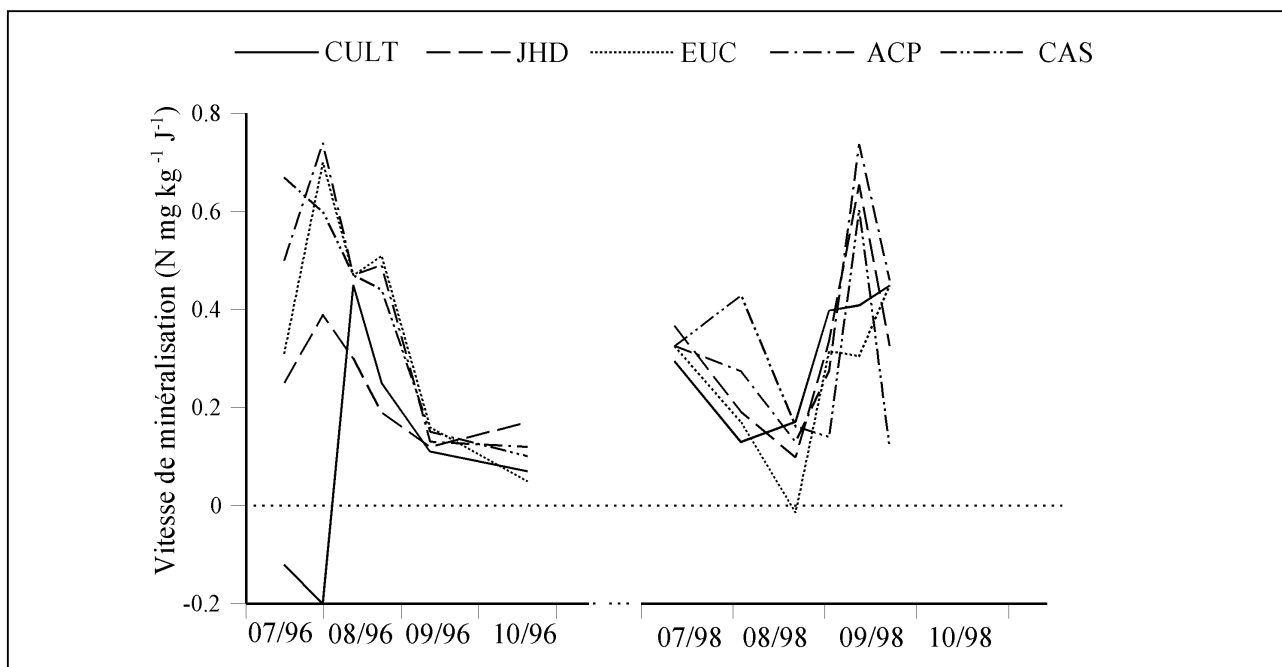


Figure 4 - Evolution de la vitesse de minéralisation de l'azote du sol au cours des saisons de culture 1996 et 1998 selon les types de précédent. (CULT : culture continue ; EUC : Eucalyptus camaldulensis ; JHD : jachère herbacée pâturée ; ACP : Acacia polyacantha ; CAS : Cassia siamea)

Figure 4 - Changes in in-situ N mineralization during 1996 and 1998 cropping seasons.



différentiations possibles entre précédents. Dans ces conditions, la contribution de la minéralisation de l'azote du sol à la satisfaction des besoins des cultures doit être très limitée, ce qui est en contradiction avec les niveaux de production atteints

En troisième campagne, ces vitesses présentent un pic lors du prélèvement de la seconde décennie de septembre, vraisemblablement par suite d'une reprise de la minéralisation à la suite de la période sèche précédente. Pendant la période de croissance végétative du maïs, la fourniture d'azote par l'horizon de surface s'établit entre 0,4 et 0,2 mg N kg⁻¹ j⁻¹ avec une fourniture légèrement meilleure pour les précédents cassia et acacia.

On peut calculer, par sommation des quantités nettes positives minéralisées, la quantité d'azote mis à la disposition de la culture (tableau 8). On ne peut pas, par contre, calculer les réserves en azote minéralisable car le suivi effectué ne couvre pas la totalité de la période de minéralisation possible et, d'après Harmand (1997) la minéralisation qui se serait produite avant juillet représente 40 % de l'azote minéralisé dans les systèmes de culture continue.

La détermination de l'azote minéralisable en laboratoire par la technique de Waring-Bremner démontre le caractère transitoire de l'amélioration de la capacité de fourniture de N par la jachère, quelle que soit sa nature (tableau 9).

Le caractère transitoire de l'apport d'azote disponible est particulièrement marqué pour les précédents cassia et jachère herbacée pâturée.

On constate la supériorité du traitement acacia après deux ans de culture. Les relativement fortes disponibilités dans le cas de la jachère herbacée pâturée sont certainement liées aux apports organiques par les animaux pâturant cette jachère pendant toute la phase de jachère. Les faibles différences entre les parcelles ayant reçu de l'engrais minéral ou non pendant deux cultures montrent que l'apport d'engrais ne protège pas contre la dégradation de la capacité à fournir de l'azote à court terme.

En conclusion, on retiendra que les capacités de fourniture d'azote par le sol mesurées in situ dans l'horizon 0-10 cm sont très variables d'une année sur l'autre avec, en première culture

des capacités meilleures pour les précédents arborés Acacia et Cassia. Les fournitures d'azote exprimées pondéralement sur les dix premiers centimètres du profil sont toutefois insuffisantes pour refléter les prélèvements par la culture et il serait nécessaire d'y associer la connaissance de la dynamique d'évolution du volume de sol exploré par les racines et le rôle des divers types de jachère sur la minéralisation en profondeur.

Évolution des stocks de carbone sur l'horizon de surface (0-20 cm) à l'échelle du système.

Les calculs de stocks de carbone (figure 5) sont effectués pour les traitements acacia, eucalyptus et culture continue en se basant sur les densités apparentes des deux premiers horizons déterminées pendant la phase de jachère arborée d'une part et en attribuant la valeur de 1,35 à celle de l'horizon labouré pendant la phase de remise en culture.

A partir de situations de départ quasiment identiques, on observe des différenciations importantes selon la phase d'observation dans le système de culture et le type de traitement. Sous culture vivrière continue on note une baisse significative des stocks dans l'horizon 0-20 cm. Sous Eucalyptus, on observe la même tendance que la culture continue tant que les arbres ne sont pas exploités. Toutefois, comme pour la jachère herbacée (JHP) le stock de carbone du sol n'est pas modifié par rapport à 1989. Après exploitation des Eucalyptus, on note une augmentation de 5 % du stock de carbone du sol, par dégradation des racines d'arbres et de graminées et enfouissement des résidus brûlés (650 kg C ha⁻¹). La jachère à Acacia améliore significativement le taux de carbone du sol pendant la phase de présence des arbres sur le terrain (26 %) ainsi que consécutivement à l'abattage (11 %).

Dans tous les cas, la remise en culture vivrière se traduit par une diminution des taux de carbone à partir des valeurs atteintes en fin de jachère. Cette diminution des stocks de carbone suite à période de jachère est une constante des systèmes de cultures annuelles (Siband, 1974; Pichot et al 1977; Tiessen et Shang, 1998) et constitue d'ailleurs, comme le constate Gigou (1995) un facteur de production majeur des

Tableau 8 - Minéralisation de l'azote in situ dans l'horizon 0-10 cm pendant la période de culture.

Table 8 - In situ nitrogen mineralization in the topsoil (0-10 cm) during the cropping season.

	Type de précédent				
	CULT	JHD	EUC	ACP	CAS
Qt de N minéralisée en 1996 (mg kg ⁻¹)	10	27	32	36	41
Qt de N minéralisée en 1997 (mg kg ⁻¹)	7	9	9	12	7
Qt de N minéralisée en 1998 (mg kg ⁻¹)	24	30	25	30	29

CULT: culture continue; JHD: jachère herbacée pâturée; EUC: Eucalyptus camaldulensis; ACP: Acacia polyacantha; CAS: Cassia siamea

Tableau 9 - Azote disponible selon Waring-Bremner dans l'horizon 0-10 cm des diverses parcelles en fin de sole arborée et après deux cultures.

Table 9 - Waring-Bremner available nitrogen in topsoil (0-10 cm) after fallow period and two cropping seasons.

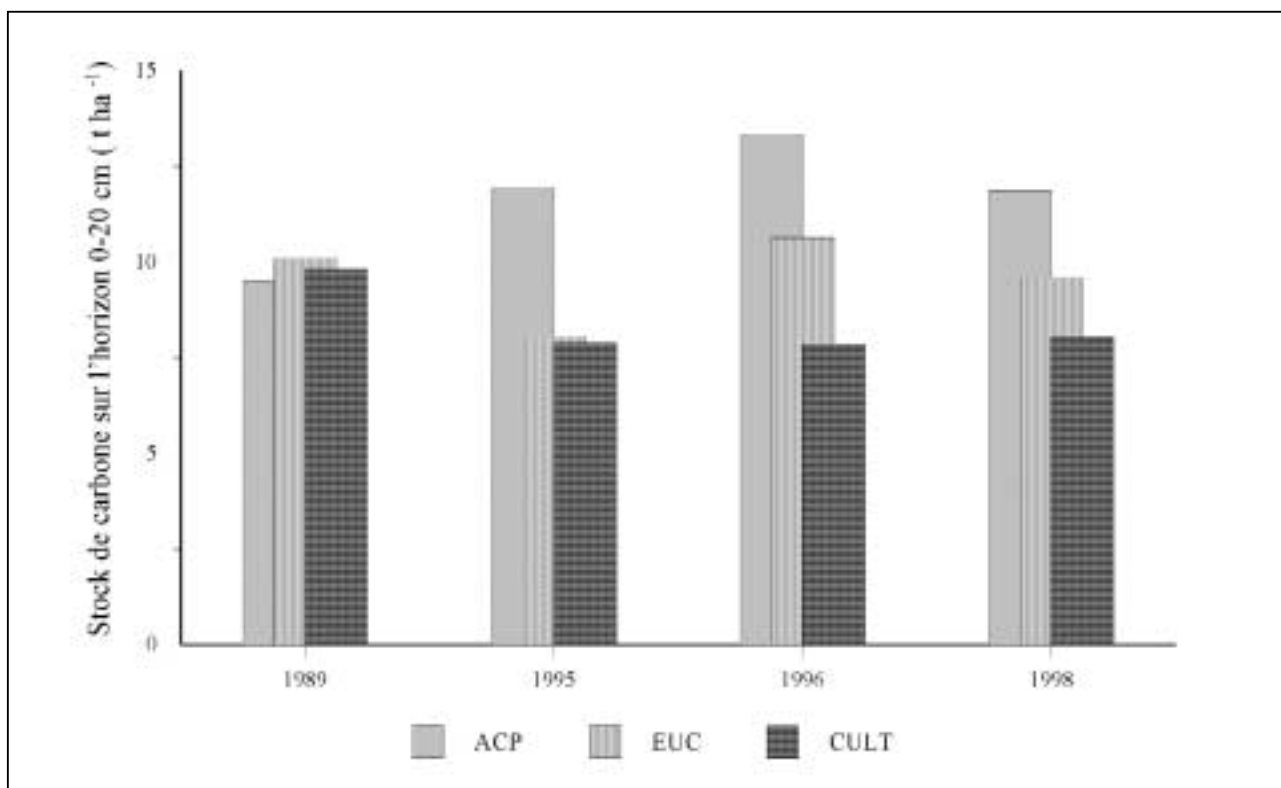
N (mg kg ⁻¹)		Type de précédent				
		CULT	JHD	EUC	ACP	CAS
Fin de sole arborée		5,7 ± 0,76	16,2 ± 2,80	7,4 ± 3,7	11,3 ± 3,40	13,4 (nd)
Après deux cultures	sans engrais	3,4	7,2	6,2	8,2	3,4
	avec engrais	5,1	7,4	4,6	9,3	6,1

CULT : culture continue; JHD : jachère herbacée pâturée ; EUC : Eucalyptus camaldulensis; ACP : Acacia polyacantha; CAS : Cassia siamea
nd: non disponible.

Figure 5 - Stocks de carbone sur l'horizon 0-20 cm à divers stades du système de culture : (1998 : avant implantation des jachères arborées ; 1995 : en cours de phase de jachère arborée ; 1996 : 6 mois après l'abattage des arbres et brûlis des résidus sur les parcelles ; 1998 : après deux cultures de maïs).

(ACP : Acacia polyacantha ; EUC : Eucalyptus camaldulensis ; CULT : culture continue)

Figure 5 - Carbon content (W/V) in 0-20 cm level for treatments according to the cropping system.



cultures dans les systèmes de culture traditionnels. Pour les deux précédents arborés pris en compte (Acacia et Eucalyptus) le taux de décomposition de la matière organique du sol calculé selon l'équation de Jenny est respectivement de 5,1 % et 5,8 % par an. Celui calculé pour le cas d'une culture continue à partir des données disponibles depuis 1989 est de 2,5 % par an, ce qui conduit, compte tenu des stocks existants

et en supposant la stabilité des taux de dégradation, à des stocks de carbone plus élevés sous précédent ligneux pendant 10 ou 15 ans par rapport à la culture continue.

Dégradation des racines de la sole arborée

Tableau 10 - Taux de décomposition (%) des racines provenant de la jachère présente sur chaque parcelle par classe de diamètre, espèce et possibilité ou non d'action de la macro-faune du sol.

Table 10 - Roots decaying ratio by diameter class and soil macrofauna possibility action for each fallow type.

Espèce	Racines classe de ϕ	Bilan			
		après une saison des pluies		après deux saisons des pluies	
		mailles fines	mailles lâches	mailles fines	mailles lâches
A C P	0 - 2	30,8 \pm 4,6	22,6 \pm 5,3	49,4 \pm 12,5	64,5 \pm 22,7
	2 - 10	37,2 \pm 6,9	48,7 \pm 5	50,6 \pm 12,1	86,4 \pm 12,4
	10 - 30	24,7 \pm 7,1	19,6 \pm 7,3	53,4 \pm 5,4	59,1 \pm 29,8
	30 - 70	25,4 \pm 5	26,4 \pm 5,1	47,4 \pm 6,3	100 \pm - - -
C A S	0 - 2	25,7 \pm 4,4	34,1 \pm 10,3	41,8 \pm 5,7	71,9 \pm 17,9
	2 - 10	35,1 \pm 4,4	46,6 \pm 7,4	57,7 \pm 4,7	84,4 \pm 19
	10 - 30	30 \pm 6,5	49,6 \pm 12,7	53,2 \pm 12	96,4 \pm 7,1
	30 - 70	38,5 \pm 3,9	42,6 \pm 9,8	64,3 \pm 6,6	94,7 \pm 10,5
E U C	0 - 2	22,3 \pm 2,5	43,7 \pm 9	55 \pm 15,2	100 \pm - - -
	2 - 10	23,1 \pm 2,1	35 \pm 3,3	48 \pm 19	74,1 \pm 10,2
	10 - 30	14,9 \pm 2,2	22,3 \pm 3,3	49,5 \pm 2,6	79,8 \pm 24,6
	30 - 70	10,4 \pm 6	22,4 \pm 6,3	57,9 \pm 29,5	90,9 \pm 17,9
Graminées	0 - 2	20,8 \pm 5,2	53,3 \pm 11,3	65,3 \pm 19,3	93,5 \pm 5,5

NN: taux de décomposition; \pm NN intervalle de confiance de la moyenne à P = 0,05

EUC: Eucalyptus camaldulensis; ACP: Acacia polyacantha; CAS: Cassia siamea; Graminées: jachère naturelle protégée.

La part de racines biodégradées après une saison des pluies et un cycle climatique complémentaire est présentée au tableau 10. La mise en place, sur chaque parcelle de plusieurs « litter bags » par date d'observation permet d'associer un intervalle de confiance à chaque proportion calculée.

Pendant la saison des pluies suivant la mise en place des « litter bags », la proportion de racines biodégradées varie entre 10 % et 50 %. Toutes classes de diamètre confondues, la macrofaune explique respectivement 26 %, 43 % et 61 % de la disparition des racines de Cassia, d'Eucalyptus et de graminées (P < 0,001). Par contre, la décomposition des racines d'Acacia ne semble pas être influencée par la macrofaune (P = 0,83).

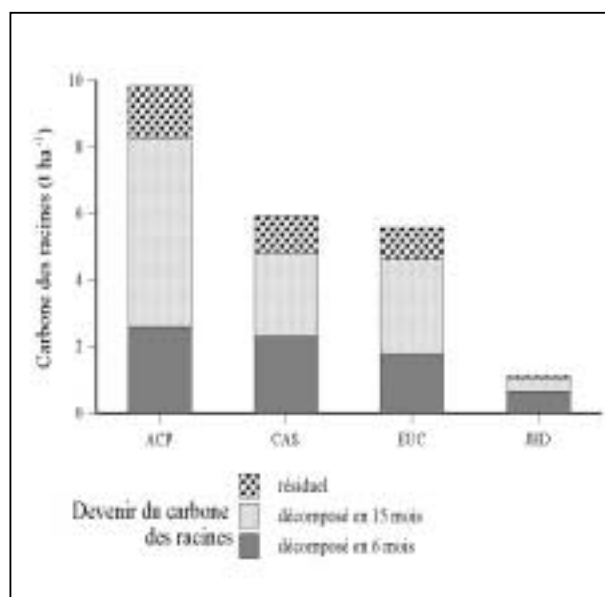
Pendant cette phase, toutes espèces ligneuses confondues, seules les racines de la classe « 2 - 10 mm » présentent une biodégradabilité supérieure aux autres classes de diamètre. en absence (31 % contre 25 %) et en présence d'action de la macrofaune (43 % contre 32 %).

Un second prélèvement effectué en fin de saison sèche (mai 1998) indique que la disparition des racines n'est pas significative en présence de macrofaune. Néanmoins, la variabilité importante observée rend compte de l'activité de la macrofaune, en particulier des termites, pendant la saison sèche. Sauf dans le cas des racines fines d'ACP, la vitesse de décomposition est sensiblement réduite pendant la saison sèche.

Figure 6 - Données simulées du devenir du carbone des systèmes racinaires des jachères après la remise en culture (0-40cm).

(ACP : Acacia polyacantha ; CAS : Cassia siamea ; EUC Eucalyptus camaldulensis ; CULT : culture continue ; JHD : jachère herbacée pâturée).

Figure 6 - Simulated data for the future of carbon roots after the fallow period.



Certains « litter bags » ayant été détruits par les travaux de mise en culture ou naturellement dégradés, le bilan après deux saisons des pluies et une saison sèche intermédiaire est globalement entaché d'une incertitude plus forte autour de la valeur moyenne. Les résultats en fin de cette seconde saison des pluies font ressortir l'effet de la macrofaune sur la biodégradabilité des racines. Il n'est pas possible, compte tenu des intervalles de confiance parfois considérables, de stratifier cet effet selon les classes de diamètre de racines enfouies mais on peut signaler son rôle majeur même dans le cas des classes de racines les plus fines (0-2 mm) comme le montrent les résultats relatifs à l'eucalyptus et aux graminées.

Lorsque les racines sont protégées de l'action de la macrofaune, leur biodégradation est nettement ralentie pendant cette seconde phase par rapport à celle intervenue pendant la première saison des pluies, le taux de décomposition atteint étant alors toujours inférieur à 70 % du matériel initial. Ces résultats confortent ceux de Manlay et Masse (1998) qui observent un rythme de décomposition semblable avec une phase initiale rapide en première saison des pluies.

Les taux de décomposition appliqués au carbone des systèmes racinaires des différentes jachères donné par Harmand (1997) permettent d'estimer le transfert de C depuis les racines vers les compartiments « litière » et « matière organique du sol » (figure 6). Si l'on applique les taux de pertes sous forme de CO_2 de 50 à 60 % généralement admis dans la littérature (Brady et Weil 1996), on constate que les résidus racinaires suffisent à expliquer les variations de stock de carbone dans l'horizon 0-20 cm.

Activité biologique

La présence de la mésofaune dans les parcelles appréciée par le piègeage des termites montre des différences en nombre d'individus selon le type de précédent arboré : CAS > ACP > EUC > JHD > CULT. Ce classement fait simplement ressortir la présence de restes de litière et de résidus de culture sur les précédents arborés.

Les mesures du CO_2 dégagé sur sol frais pendant la première saison de culture ont démarré relativement tardivement par rapport à la date de semis et la quantité de CO_2 produite varie entre 2 et 13 $\text{mg C j}^{-1} \text{kg}^{-1}$ de sol, avec une tendance à la diminution en cours de saison et une production la plus faible dans le cas de la parcelle CULT. Ces mesures ont été reprises en troisième campagne. La dynamique de dégagement du CO_2 (figure 7), observée à périodes régulières après le labour de préparation des parcelles, montre une phase ascendante qui dure de 6 à 8 semaines selon les traitements avec une « respiration » plus importante pour les traitements eucalyptus et acacia. On assiste par la suite à une phase descendante. Sur la période observée, la « respiration » du sol s'établit entre 2 et 15 $\text{mg C kg}^{-1} \text{J}^{-1}$ avec des valeurs toujours les plus faibles pour le traitement CULT. Une telle dynamique et de telles valeurs

sont cohérentes avec celles déterminées in situ par Reicosky (1997) mesurant l'effet du travail du sol sur la respiration du sol après enfouissement de résidus de récolte. Dans notre cas, il est vraisemblable que l'origine de la forte production de CO_2 constatée ait pour origine la décomposition des adventices enfouies par le labour.

L'activité biologique sur les diverses parcelles après deux années de culture annuelles a été appréciée par la mesure de la respiration du sol dans des conditions standard d'incubation (30 °C; pF 2,0; 14 jours) et par la mesure des activités uréasique et protéasique ainsi que par la détermination de la biomasse microbienne (tableau 11).

Les graphes deux à deux des divers paramètres mesurés montrent une interdépendance des données malgré quelques écarts individuels. Ces index d'activité de la microflore du sol (Frankenberger et Dick, 1983) opposent les parcelles ACP et EUC d'une part aux autres dont l'index est plus faible. Ils sont fortement liés à la teneur en carbone du sol, ce qui ne fait que confirmer l'importance de la matière organique dans l'activité de la microflore signalée, à partir des activités enzymatiques du sol, par Martens et al (1991). Les valeurs d'activité uréasique mesurées ici sont 50 fois plus faibles que celles mesurées par Bardgett et Leemans (1996) dans des conditions climatiques même plus rigoureuses, et de 10 à 50 fois plus faibles que celles signalées par Dick (1984) dans divers systèmes de culture dans l'Ohio. Même si cet auteur montre la dépendance de ces activités selon le type de système de culture et dans le profil, on ne peut que constater la faiblesse des activités mesurées sur sol séché puis mis à incuber en laboratoire. L'activité protéasique (exprimée par la production de tyrosine à partir de la caséine) se situe à des valeurs environ 3 à 6 fois inférieures à celles de Friedel et al (1996). Les biomasses microbiennes mesurées sont faibles et représentent de 0,4 à 2,4 % du carbone total du sol.

En conclusion, l'appréciation de l'activité de la microflore du sol par le biais des activités enzymatiques montre que les systèmes les plus conservateurs du taux de matière organique du sol sont ceux qui ont les activités le plus fortes, mais ces activités sont toujours très inférieures à celles mesurées dans des systèmes intensifs ou en conditions naturelles tempérées.

Comportement des cultures

Le suivi des cultures a été effectué sur les deux types de parcelles : fertilisées et non fertilisées pendant 3 campagnes successives. L'apport d'engrais n'étant effectué que pour apprécier le potentiel de production sous les divers précédents, il ne sera par la suite discuté que dans cette optique. Les principales observations faites sur les parcelles cultivées en maïs (tableau 12) témoignent de la sensibilité de la culture au précédent arboré.

L'allure générale de la saison des pluies a été différente selon les campagnes. La première campagne a été marquée

Figure 7 - Dynamique de la " respiration du sol " (horizon 0-10cm) selon les divers traitements à Ngong (campagne 1998).
(CULT : culture continue ; EUC : Eucalyptus camaldulensis ; ACP : Acacia polyacantha ; CAS : Cassia siamea)
Figure 7 - Soil respiration (0-10cm) level for the Ngong treatments in 1998.

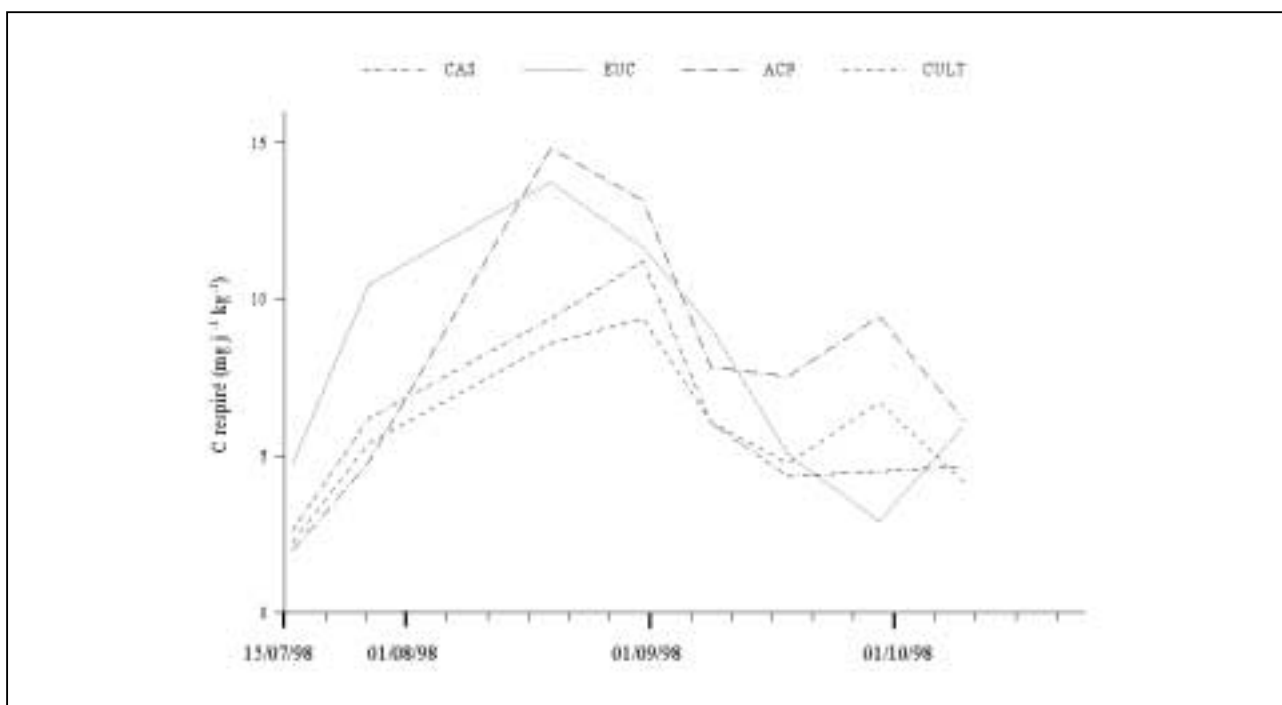


Tableau 11 - Appréciation de l'activité biologique des sols après deux années de culture sans engrais (données individuelles des deux parcelles).

Table 11 - Biological activity indexes for the topsoil (0-10 cm) after two cropping season without fertilizer (data for each of the two parcels).

Critère « biologique »	Type de précédent				
	CULT	JHD	EUC	ACP	CAS
V0 (mg C kg ⁻¹ j ⁻¹)	29,5 - 30,4	36,3 - 29,6	41,8 - 32,9	53,2 - 32,2	32,3
Uréase (mg N kg ⁻¹ h ⁻¹)	4,59 - 2,46	3,36 - 2,52	3,11 - 2,76	4,19 - 2,59	3,05
Protéase (mg tyr kg ⁻¹ h ⁻¹)	9,9 - 11,6	30,5 - 48,4	40,8 - 37,4	39,3 - 19,3	9,9
Biomasse Microbienne C (mg C kg ⁻¹)	39	89 - 66	38 - 27	50 - 13	69

V0 : vitesse initiale de minéralisation ; Uréase : activité uréasique ; Protéase : activité protéasique

CULT : culture continue ; JHD : jachère herbacée pâturée ; EUC : Eucalyptus camaldulensis ; ACP : Acacia polyacantha ; CAS : Cassia siamea

par un déficit pluviométrique après le semis et la troisième (880 mm au total) a été très irrégulière et déficitaire avec un effet important sur la levée du maïs.

En première culture, la proportion de pieds présents à la récolte par rapport au nombre théorique de pieds diffère selon les précédents et est augmentée par la fertilisation dans le cas de CULT, certainement en permettant un démarrage plus rapide de la culture sur un sol battant et très appauvri.

En seconde année, on n'observe pas un tel comportement mais il faut signaler qu'en première année, le semis (01/07) a

été suivi par une décade sans pluie et les traitements où les propriétés physiques de surface étaient les moins favorables ont pu en souffrir.

La troisième culture se distingue par un taux de survie des plants faible pour tous les traitements et des rendements en grains bas. Sans engrais seul le précédent ACP assure une production égale à 1 t ha⁻¹ de grain. L'effet de l'engrais est faible sur la production de grains, du fait des conditions pluviométriques, mais par contre il est très net sur la production de biomasse aérienne.

Sans apport d'engrais, les deux premières années de remise en culture montrent un effet supérieur très net du précédent Acacia sur le comportement du maïs : on observe en première année un triplement des productions obtenues après les autres jachères et en deuxième année un doublement de ces productions. En troisième année de remise en culture, l'arrière effet Acacia est à peine visible avec néanmoins un poids de grain par pied nettement supérieur à celui des autres précédents. En revanche, au cours des trois années étudiées, les autres précédents jachère montrent peu ou pas de différence avec la culture continue.

Les précédents Acacia et Cassia valorisent mieux, en première et seconde année, les apports d'engrais que les autres précédents, aussi bien en production de biomasse aérienne que de grains.

Les profils racinaires à la récolte en première année (figure 8), observation tardive mais effectuée à cette période car destructive, montrent que les traitements jachère herbacée protégée et eucalyptus se distinguent par un enracinement profond en deçà de 30 cm moins important que sous les autres traitements. Ceci est en accord avec la hiérarchie des paramètres mesurés sur la biomasse aérienne des plantes. Dans la jachère herbacée pâturée la moindre porosité pourrait être imputable au tassement du sol par le bétail.

Le traitement CAS se distingue par un enracinement plus dense que pour les autres traitements jusqu'à 50 cm de profondeur. Cette différence est plutôt liée à la nature du sol et à l'histoire particulière de la parcelle située hors dispositif qu'à un effet du traitement. L'apport d'engrais améliore pour tous les traitements la densité d'enracinement, avec, pour certains une modification de la répartition entre les divers horizons, par exemple pour CAS où la densité racinaire est alors diminuée dans l'horizon labouré mais par contre augmentée dans l'horizon A (tableau 13).

L'état nutritionnel des cultures a été apprécié par le diagnostic foliaire (tableau 14). Pour la première campagne, seules les parcelles sans engrais ont été échantillonnées, tandis que les deux types de parcelles l'ont été en seconde et troisième culture.

En première culture on observe une meilleure alimentation azotée du maïs après acacia et une plus forte teneur en calcium après eucalyptus et acacia. Ces résultats sont en accord avec les analyses de sol effectuées juste avant la remise en culture. Les teneurs en azote plus élevées du précédent acacia sont également observées en seconde et troisième cultures.

Le diagnostic foliaire effectué en seconde campagne montre des contrastes nutritionnels nets entre précédents arborés. Si on se réfère aux normes de la littérature (Escano et al., 1981) tous

Tableau 12 - Principales données sur la culture du maïs pendant les trois campagnes pour chaque traitement (NN) et effet de l = engrais selon les types de précédent (NN).

Table 12 - Main crop data of maize during the three study years for each treatment (NN) and effect of fertilizer (NN).

		Type de précédent									
		CULT		JHD		EUC		ACP		CAS	
Campagne	*densité de pieds présents à la récolte	0,52	0,40	0,83	0,0	0,73	0,1	0,89	0,0	0,90	0,1
	rendement en grains (t ha ⁻¹)	0,43	1,35	0,65	1,07	0,59	1,24	2,43	1,04	0,82	2,45
	poids de grain (g pied ⁻¹)	16,5	22,2	15,7	25,86	16,2	27,981	54,6	23,4	18,2	47,2
	Matière sèche aérienne (t ha ⁻¹)	1,2	n d	2,84	n d	1,6	n d	6,58	n d	2,71	n d
98	*densité de pieds présents à la récolte	0,71	0	0,83	0,1	0,8	0	0,97	7	?	?
	rendement en grains (t ha ⁻¹)	1,31	0,37	1,8	1,83	2,07	1,6	3,97	2,61	1,69	5,04
	poids de grain (g pied ⁻¹)	34	15	43	37	51	44	80	47	?	?
	Matière sèche aérienne (t ha ⁻¹)	3,27	0,9	2,29	0,22	3,68	0,6	4,24	2,94	3,42	3,40
Campagne	*densité de pieds présents à la récolte	0,35	0,23	0,51	0,34	0,45	0,23	0,40	0,27	0,67	-0,13
	rendement en grains (t ha ⁻¹)	0,71	0,18	0,86	0,08	0,87	0,12	1,01	0,05	0,60	0,40
	poids de grain (g pied ⁻¹)	35	-5	32	-8	39	-10	58	-26	18	19
	Matière sèche aérienne (t ha ⁻¹)	1,25	2,58	1,67	3,12	2,35	3,45	2,878	3,19	2,60	2,95

NN : donnée pour la parcelle sans fertilisation ; NN : plus value apportée par la fertilisation ; ?? : donnée manquante ; n,d. : non déterminé,

* : densité de semis théorique de 50000 pieds ha⁻¹,

CULT : culture continue ; JHD : jachère herbacée pâturée ; EUC : Eucalyptus camaldulensis ; ACP : Acacia polyacantha ; CAS : Cassia siamea

Figure 8 - Profils racinaires d'une culture de maïs avec fumure minérale en 1996 sous divers précédents.
(CULT : culture continue ; JHD : jachère herbacée pâturée ; EUC : Eucalyptus camaldulensis ; ACP : Acacia polyacantha ; CAS : Cassia siamea).

Figure 8 - Roots profiles of maize receiving fertilization in 1996 for different types of previous soil use.

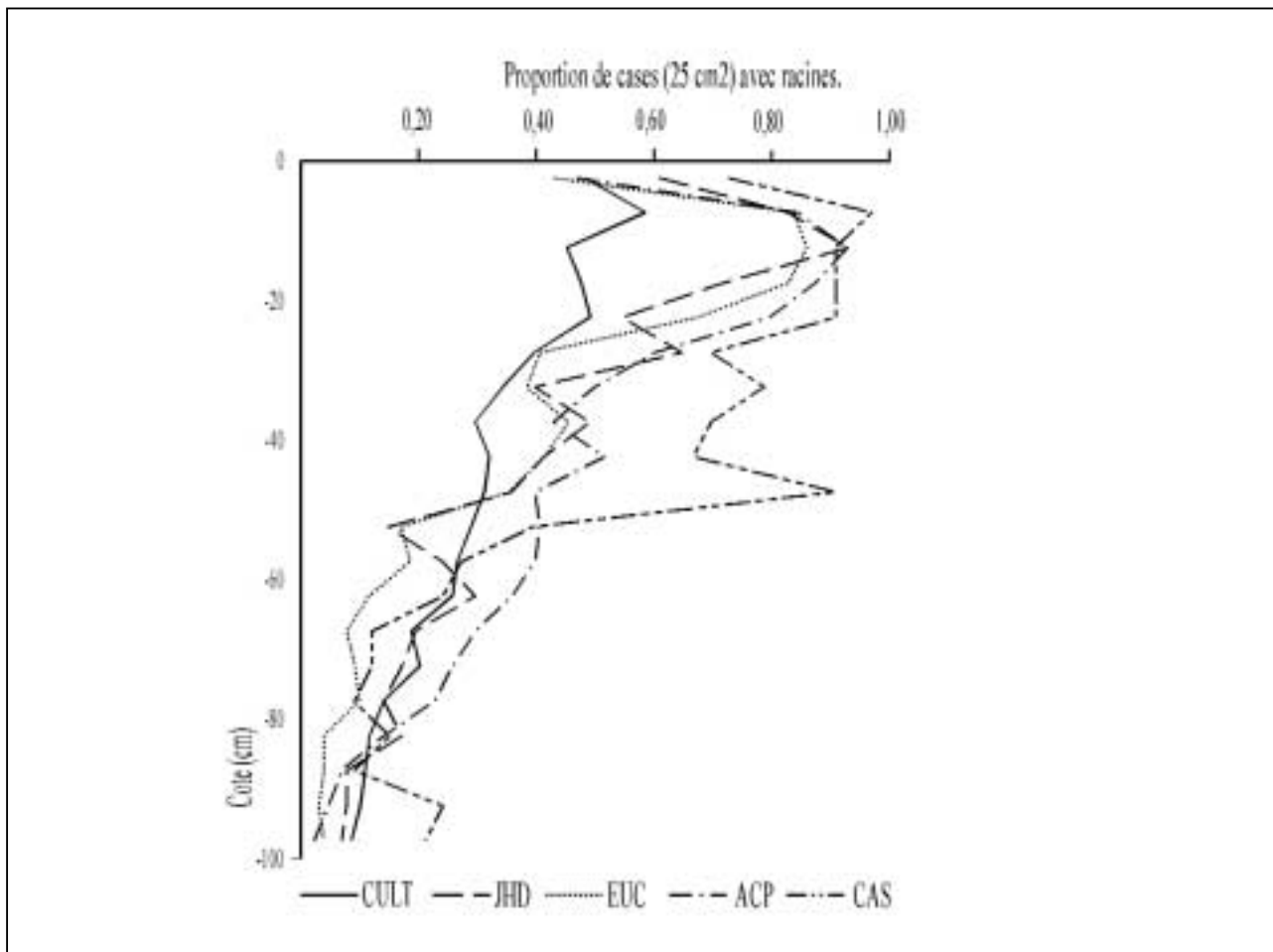


Tableau 13 - Enracinement du maïs par horizon selon les précédents (proportion moyenne d'aires de 25 cm² avec racines sur l'ensemble du profil et par horizon).

Engrais	Type de précédent									
	CULT		JHD		EUC		ACP		CAS	
	sans	avec	sans	avec	sans	avec	sans	avec	sans	avec
ensemble du profil	0,286	0,296	0,157	0,377	0,23	0,327	0,362	0,429	0,456	0,461
Horizon labouré (0/20 cm)	0,417	0,500	0,361	0,771	0,583	0,739	0,558	0,779	0,93	0,659
Horizon intermédiaire (20/50 cm)	0,381	0,361	0,224	0,477	0,250	0,448	0,491	0,540	0,623	0,778
Horizon profond (50/100 cm)	0,177	0,176	0,03	0,159	0,080	0,09	0,206	0,223	0,166	0,191

NN : donnée pour la parcelle sans fertilisation ; NN : donnée pour la parcelle avec fertilisation

CULT : culture continue ; JHD : jachère herbacée pâturée ; EUC : Eucalyptus camaldulensis ; ACP : Acacia polyacantha ; CAS : Cassia siamea

Tableau 14 - Diagnostic foliaire du maïs avec et sans apport d'engrais.

Table 14 - Results of maize foliar diagnosis, with and without fertilizer for the five treatments.

	Engrais	Type de précédent									
		CULT		JHD		EUC		ACP		CAS	
		sans	avec	sans	avec	sans	avec	sans	avec	sans	avec
Campagne 96	N %	2,45	n d	2,36	n d	2,23	n d	2,82	n d	1,91	n d
	P %	0,22	n d	0,22	n d	0,22	n d	0,22	n d	0,20	n d
	K %	1,48	n d	1,80	n d	1,53	n d	1,74	n d	1,65	n d
	Ca %	0,360	n d	0,290	n d	0,413	n d	0,457	n d	0,309	n d
	Mg %	0,129	n d	0,190	n d	0,183	n d	0,234	n d	0,200	n d
Campagne 97	N %	2,04	3,02	2,22	2,71	2,01	2,71	2,3	3,19	2,17	2,94
	P %	0,24	0,32	0,18	0,24	0,25	0,32	0,22	0,32	0,19	0,33
	K %	1,63	1,76	1,77	2,04	1,79	1,68	2,01	2,02	2,26	2,36
	Ca %	0,481	0,586	0,434	0,522	0,536	0,502	0,597	0,613	442	0,515
	Mg %	0,166	0,22	0,242	0,292	0,221	0,264	0,299	0,333	0,210	0,249
Campagne 98	N %	1,97	2,78	1,85	2,68	2,00	2,81	2,27	3,10	2,01	2,86
	P %	0,272	0,320	0,152	0,250	0,284	0,346	0,190	0,296	0,192	0,324
	K %	1,431	1,942	1,101	1,652	1,370	1,544	1,279	1,524	1,611	1,947
	Ca %	0,278	0,459	0,340	0,541	0,364	0,700	0,460	0,653	0,312	0,588
	Mg %	0,147	0,196	0,220	0,252	0,166	0,266	0,254	0,304	0,163	0,237

*NN : donnée pour la parcelle sans fertilisation ; NN : donnée pour la parcelle avec fertilisation ; n.a. : non analysé (seules les parcelles sans apport d'engrais ont été échantillonnées),

CULT : culture continue ; JHD : jachère herbacée pâturée ; EUC : Eucalyptus camaldulensis ; ACP : Acacia polyacantha ; CAS : Cassia siamea

les traitements non fertilisés sont en situation de déficience azotée dont certains (CULT, EUC) en état de carence net. Il apparaît aussi un déficit de nutrition phosphorique pour les traitements jachère herbacée pâturée et cassia, et une situation limite pour les autres traitements, quant à la nutrition potassique. Elle est toujours en limite inférieure des teneurs convenables. La fertilisation permet, dans tous les cas de retrouver un niveau nutritionnel convenable.

En troisième campagne, ces résultats sont confirmés avec une aggravation de la situation pour la nutrition potassique et magnésienne qui, sans apport d'engrais, deviennent nettement déficitaires sauf pour le précédent acacia. Il existe d'ailleurs une relation entre les teneurs en magnésium échangeable des diverses parcelles (analyses de 98) et l'état nutritionnel du maïs. D'autre part, on observe toujours une plus forte teneur plus forte teneur en Mg du maïs après acacia et jachère herbacée pâturée, confirmant ainsi l'effet sur le magnésium échangeable du sol observé dans ces types de jachère avant exploitation (Harmand et Njiti, 1998).

Pour conclure, l'effet supérieur de l'Acacia n'est pas montré par les caractéristiques du complexe absorbant qui ne différaient pas entre les précédents jachères ligneuses en 1996 (tableau 2). Cet effet qui s'exprime par une meilleure alimentation azotée du maïs, est lié aux plus fortes quantités de carbo-

ne et d'azote facilement minéralisable contenues dans la matière organique du sol et les systèmes racinaires.

CONCLUSION

ζ Deux choix sont essentiels dans l'établissement d'un système de culture « jachère agroforestière - cultures annuelles » : celui de l'espèce arborée utilisée en jachère d'une part, et le mode d'exploitation de cette jachère d'autre part. De ces choix dépendent les techniques culturales de remise en culture annuelle. Ils ne sont pas indépendants, particulièrement lorsque les résidus d'exploitation de la sole arborée sont de nature à rendre excessive la pénibilité du travail, comme c'est le cas pour les résidus épineux des acacias africains qui imposent le brûlis comme technique de préparation des champs en préalable au labour. Dans le contexte du Nord-Cameroun, où la culture attelée est répandue, le choix du brûlis paraissait donc naturel. Ce brûlis, par la libération d'une importante quantité de minéraux et son effet sur le pH conditionne la restauration de la garniture du complexe adsorbant, parachevant ainsi l'effet du turn-over des litières de la sole arborée. Pour certains traitements (Eucalyptus), les caractéristiques du complexe absorbant (CEC, bases) mesurées en début de cycle cultural, sont surtout influencées par les restitutions de cendres après brûlis

des résidus. C'est la raison pour laquelle ces caractéristiques ne diffèrent pas entre les traitements jachères arborées à la fois en 96 et 98. Aussi ces caractéristiques ne rendent pas compte des différences de comportement des cultures après jachère. En effet, l'action spectaculaire de l'Acacia, n'est pas montrée par ces caractéristiques mais par les compartiments organiques du sol influencés par la fixation symbiotique de l'azote. Ce processus permet une intégration au sol d'une plus grande quantité de matière organique au rapport C/N plus équilibré ainsi qu'une plus forte accumulation d'azote dans le système racinaire. Dans le système de culture qui suit, cette meilleure qualité de la matière organique correspond à une dégradation moins rapide qu'avec les autres précédents.

ζ La fourniture d'azote disponible pour les plantes est aussi un résultat agronomique attendu de la période de jachère. On a vu, pendant la phase de jachère que ses divers types se distinguaient par leur stratégie face à la faible disponibilité naturelle en azote du milieu en le fixant (acacia), le stockant tout en limitant la minéralisation de l'azote du sol (cassia) et/ou en réutilisant l'azote provenant de la dégradation de ses propres litières. Pendant les cultures qui suivent, les capacités de fourniture d'azote par le sol restent limitées même lorsque le précédent est l'Acacia, pourtant le plus performant. Cette fourniture d'azote, mesurée aux champs ou par un test en laboratoire s'est montrée toujours largement inférieure aux besoins d'une culture productive de maïs et n'a pas rendu compte de la mobilisation effective de l'azote par les cultures. Cela peut s'expliquer, d'une part par la méthode qui mesure la minéralisation uniquement sur une partie du profil et, d'autre part, par les flux d'azote non identifiables par cette technique. Il s'agit en particulier du transfert d'azote qui peut s'opérer directement des racines mortes de la jachère vers les racines vivantes de la culture. Ce phénomène a été présenté par Abbadie et al. (1996) comme le processus essentiel de l'alimentation azotée des graminées des savanes soudanaises.

ζ Dans tous les cas, l'apport d'engrais minéral en complément est bénéfique pour l'état nutritionnel des cultures et la formation de biomasse aérienne, démontrant par là l'insuffisance de la jachère pour restaurer la fertilité chimique du milieu. Cet apport minéral n'améliore pas toujours la production des cultures. Il peut même la limiter, en cas de stress hydrique, comme cela a été le cas pour la dernière campagne.

ζ Pendant la jachère, le profil cultural évolue différemment selon le couvert, influant nettement sur l'installation de la culture au moins en première année, mais aussi sur la qualité de l'enracinement comme le montrent les comparaisons de profils racinaires dans le cas des parcelles fertilisées. La nature des racines, leur répartition et leur dynamique de décomposition, en orientant l'activité biologique de leur environnement, seraient le moteur de cette différenciation.

ζ Sur des parcelles cultivées uniformément en vivriers, les indicateurs d'activité biologique choisis ne permettent pas de différenciation nette entre précédents mais mettent en évidence une relation entre l'activité biologique et la richesse en matière organique que ce soit pour la minéralisation de l'azote du sol, les activités enzymatiques ou la « respiration » du sol. L'évolution des taux de matière organique sur les divers traitements remis en culture montre que le système évolue vers un équilibre naturellement situé à un niveau plus bas que celui de la jachère arborée ou naturelle. L'ensemble des techniques de gestion de l'exploitation agricole devront donc tendre à préserver au mieux les acquis des temps de jachère, ce qui ne pourra être possible que par la préservation du niveau organique et donc suggère de gérer au mieux la conservation des éléments dans le profil pendant la période comprise entre le début de la saison des pluies et le semis. Cette gestion pourrait être faite en implantant à cette période des « mini jachères » de légumineuses herbacées (*Pueraria phaseoloïdes*, *Mucuna* spp...), plantes qui, de plus, permettraient des économies d'azote et faciliteraient la gestion des adventices pendant la culture.

BIBLIOGRAPHIE

- Abbadie L., Mariotti A. Menaut J.-C., 1996 - Paradoxes d'une savane africaine. Comment des sols apparemment pauvres entretiennent une végétation abondante. *La recherche* 287, pp. 36-38.
- Azontondé A.H., Feller C., Ganry F., Rémy J.-C., 1998 - Le mucuna et la restauration des propriétés d'un sol ferrallitique au sud du Bénin. *Agriculture et Développement* -18, pp. 55-62
- Baron C., Perez P., Maraou F., 1995 - SARRA- (système d'analyse régionale des risques agroclimatiques. Logiciel CIRAD. (version 5.1).
- Bardgett R., Leemans D., 1996 - Soil microbial activity on exposed mountain ridges in snowdria (EYRIRY), North Wales. *Soil Biol Biochem*, 28, n° 10/11, pp. 1533-1536
- Bernhard-Reversat F., 1982 - Biogeochemical cycle of nitrogen in a semi-arid savanna. *Oikos* 32, pp. 321-332.
- Bertrand A., 1993 - La sécurisation foncière, condition de la gestion viable des ressources naturelles renouvelables. in Sustainable land management in African semi-arid and subhumid regions. Proceedings of the SCOPE workshop 15-19 november 1993, Dakar Sénégal, pp. 313-327.
- Birch H.F., 1958 - The effect of soil drying on humus decomposition and nitrogen availability. *Plant and soil*, 10, pp. 1-31.
- Boyer J., 1982 - Les sols ferrallitiques - Tome x. Facteurs de fertilité et utilisation des sols. ORSTOM Paris. Initiation Documentation Technique. n° 52 - 384 pages.
- Brady N.C., Weil R.R., 1996 - The nature and properties of soils -Prentice Hall international inc. - 740 pages.
- César J., Coulibaly Z., 1991 - Conséquences de l'accroissement démographique sur la qualité de la jachère dans le nord de la Côte d'Ivoire. In La jachère en Afrique de l'Ouest. Atelier International de Montpellier -ORSTOM éditeurs - Montpellier 2-5 décembre 1991, pp. 415-434.
- Dabin B., 1967 - Sur une méthode d'analyse du phosphore dans les sols tropicaux. Colloque sur la fertilité des sols tropicaux, Tananarive, 19-25 Nov. - vol 1, pp. 99-115.
- Dick W.A., 1984 - Influence of long-term tillage and crop rotation combinations on soil enzyme activities. *Soil sci. soc. am. J.* (48), pp. 569-574
- Dugué P., 1998 - Gestion de la fertilité et stratégies paysannes. Le cas des zones de savanes d'Afrique de l'Ouest et du Centre. - *Agriculture et Développement* (18), pp. 21-30.
- Escano C.R., Jones C.A., Uehara G., 1981 - Nutrient diagnosis in corn grow on hydric Dystrandepts: I. Optimum tissue nutrient concentrations. *Soil sci. soc. am.j.* (45), pp. 1135-1139
- Fallavier P., 1996 - Physico-chimie des sols tropicaux in Fertilité du milieu et stratégies paysannes sous les tropiques humides. Actes du séminaire de Montpellier 13-17 novembre 1995, pp. 23-29.
- Frankenberger W.T., Dick W.A., 1983 - Relationships between enzyme activities and microbial growth and activity indices in soil. *Soil. Sci. Soc. Am. J.*, 47, pp. 945-951.
- Franquin P., Forest F., 1977 - Des programmes pour l'évaluation et l'analyse fréquentielle du bilan hydrique. *L'Agronomie Tropicale* 32 (1), pp. 7-11.
- Friedel J.K., Munch J.-C., Fischer, W.R., 1996 - Soil microbial properties and the assessment of available soil organic matter in a haplic luvisol after several years of different cultivation and crop rotation. *Soil Biol Biochem* vol 28 n° 4/5, pp. 479-488.
- Gigou J., 1995 - La dynamique de la matière organique et de l'azote dans les sols tropicaux des zones humides et très humides in Fertilité du milieu et stratégies paysannes sous les tropiques humides. Actes du séminaire de Montpellier 13-17 novembre 1995, pp 194-206.
- Hammassa H., Coulibaly C., 1994 - La dynamique foncière face aux exigences du développement durable: le cas de la zone Sud-Mali. In Promotion de systèmes agricoles durables dans les pays d'Afrique soudano sahélienne. Séminaire régional FAO-CIRAD Dakar Sénégal, 10-14 janvier 1994, pp. 137-157.
- Harmand J. M., 1997 - 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. Thèse de doctorat de l'Université de Paris VI - 6 octobre 1997 - 213 pages.
- Harmand J.-M., Njiti C.-F., 1998 - Effets de jachères agro-forestières sur les propriétés d'un sol ferrugineux et sur la production céréalière. *Agriculture et Développement* (18), pp. 21-30.
- Hien E., 1996 - Effet des jachères de diverses natures sur le statut organo-minéral d'un sol ferrugineux tropical dégradé. Conséquences pour la culture. Le cas de Ngong au Cameroun. Mémoire CNEARC. Montpellier. 69 pages
- Jean S., 1991 - Jachères et stratégies foncières In La jachère en Afrique de l'Ouest. Atelier International de Montpellier -ORSTOM éditeurs - Montpellier 2-5 décembre 1991, pp. 47-54.
- Manlay et Masse, 1998 - Dynamique du carbone dans le cycle culture jachère en Afrique de l'Ouest, pp. 91-104. In *Raccourcissement du temps de jachère, biodiversité et développement durable en Afrique Centrale (Cameroun) et en Afrique de l'Ouest (Mali, Sénégal)*, Coordonateur: C. Floret, ORSTOM (France), IRAD (Cameroun), IER (Mali), ISRA (Sénégal), CEFE/CNRS (France), NRI (Grande Bretagne). 245 p.
- Martens D.A., Johanson J.-B., Fankenberger, W.T., 1991. Production and persistence of soil enzymes with repeated addition of organic residues. *Soil Science* 1992, vol. 153 n°1, pp. 53 - 61.
- Milleville P., Serpantié G., 1994 - Intensification et durabilité des systèmes agricoles en Afrique soudano-sahélienne in Promotion de systèmes agricoles durables dans les pays d'Afrique soudano sahélienne. Séminaire régional FAO-CIRAD Dakar Sénégal, 10-14 janvier 1994, pp. 33-45.
- Moutonnet P., Pagenel J.-F., Fardeau J.-C., 1993 - Simultaneous field measurement of nitrate-nitrogen and matric pressure head. *Soil science society of america Journal* 57, pp. 1458-1462.
- Ohlinger R., 1995 - Ninhydrin reactive N by fumigation-extraction technique in *Methods in soil Biology*. Springer-Verlag Berlin - 426 pages.
- Orsini L., Rémy J.-C., 1976 - Utilisation du chlorure de cobaltihexammine pour la détermination simultanée de la capacité d'échange et des bases échangeables des sols. *Bulletin de l'AFES* n° 4 pp. 269-275
- Peltier R., 1990 - L'arbre dans les terroirs villageois. In *Savanes d'Afrique, terres fertiles, actes des rencontres internationales*, Montpellier France, 10 au 10 décembre 1990. La Documentation Française, Paris, France, pp. 507-528.
- Pichot Al., Zahawe F., Chabalié P.F., 1977 - Evolution d'un sol ferrallitique de Côte d'Ivoire. Effet des apports d'engrais et de compost. In *AIEAE - Soil organic matter studies* Vol 1, pp. 83-96.
- Pieri C., 1989 - Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara. Paris, Ministère de la coopération et du Développement, CIRAD, 444 pages.
- Pieri C., 1983 - Nutrient balances in rainfed farming systems in arid and semi-arid regions. In 17 th. colloque International Potash Institute, Berne, pp. 181-209.
- Poss R., 1991 - Transferts de l'eau et des éléments minéraux dans les terres de barre du Togo. Conséquences agronomiques. Thèse Université Paris VI soutenue le 4 juillet 1991. 335 pages.
- Reicosky D.C., 1997 - Tillage-induced CO₂ emission from soil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 49, pp. 273-285
- Séne H., 1994 - Agro-foresterie: possibilités et limites en tant qu'option de développement durable. In Promotion de systèmes agricoles durables dans les pays d'Afrique soudano-sahélienne. Séminaire régional 10-14 janvier 1994. Dakar, pp. 121-133.
- Schinner F., Ohlinger R, Kandeler E, Margesin R., 1995 - Enzymes involved in

- Nitrogen metabolism in *Methods in soil biology*, Springer -Verlag Berlin - 426 pages.
- Schroth G. 1994 - Above and below-ground interactions in alley cropping with *Gliciridia sepium* as compared to conventional and mulched sole cropping on a high base status soil in the West African rainforest zone. Thèse Université de Bayreuth ISSN 0931-6442 - 178 pages.
- Siband P., 1974 - Evolution des caractères de la fertilité d'un sol rouge de Casamance. *L'Agronomie Tropicale* 29 (12), pp. 1228-1248
- Tiessen H., Shang C., 1998 - Organic matter turnover in Tropical Land-use systems. In *Carbon and nutrient dynamics in natural and agricultural tropical ecosystems*. (Bergstrom L. And Kirchman H. Eds.) CAB international, pp. 1-14.
- Triomphe B., 1996 - Seasonal nitrogen dynamics and long-term changes in soil properties under mucuna/maize cropping system on tyhe hillsides of northern Honduras. Mémoire PHD Cornell University, 217 pages.
- Villemin P., 1987 - Translation of laboratory K-data into K fertilizer recommendations in *Methodology in soil-K research*. 20th. Colloquium of the International Potash Institute. Baden bei Vienna 23-25 août, pp. 187-198
- Young A., 1995 - *L'agroforesterie pour la conservation des sols* - ICRAF éditeur - 194 pages