

## Effets de jachères agroforestières sur la réhabilitation et la productivité de sols ferrugineux tropicaux des savanes soudaniennes du Nord Cameroun

**Jean-Michel Harmand<sup>1</sup>, Clément Forkong Njiti<sup>2</sup>, France Bernhard-Reversat<sup>3</sup>, Robert Oliver<sup>4</sup>, Régis Peltier<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> CIRAD, UMR Eco&Sols, 2 Place Viala, 34060 Montpellier, France, [jean-michel.harmand@cirad.fr](mailto:jean-michel.harmand@cirad.fr)

<sup>2</sup> IRAD, BP 415 Garoua, Cameroun, [cfnjiti@yahoo.co.uk](mailto:cfnjiti@yahoo.co.uk)

<sup>3</sup> IRD, Centre d'Ile de France, 32 Avenue Henri Varagnat, 93143 Bondy, France (décédée)

<sup>4</sup> ex CIRAD, UPR Recyclage et risques : [courriel :rlaoliver@free.fr](mailto:rlaoliver@free.fr)

<sup>5</sup> CIRAD, UPR Bsef, Campus de Baillarguet, 34398 Montpellier, France, [regis.peltier@cirad.fr](mailto:regis.peltier@cirad.fr)

### Résumé

Différentes jachères arborées plantées d'*Acacia polyacantha*, de *Senna siamea* ou d'*Eucalyptus camaldulensis* et une jachère naturelle herbacée, ont été installées en comparaison, sur un sol appauvri en matière organique et en nutriments, dans la région de Garoua au Cameroun (1050 mm de pluviosité). L'objectif était d'évaluer leurs effets sur la dynamique du carbone, les cycles des nutriments, les propriétés du sol et le rendement des cultures annuelles après jachère. Par rapport à la jachère herbacée, les jachères arborées de 7 ans ont augmenté considérablement l'accumulation de matière organique et de nutriments dans la biomasse aérienne et souterraine et aussi le prélèvement des nutriments de la profondeur du sol. Ces processus ont permis, lors de l'exploitation des jachères arborées et du brûlis des résidus, d'améliorer les caractéristiques du complexe absorbant (somme des cations échangeables, en particulier Ca) dans l'horizon de surface (0-10 cm) des jachères ligneuses par rapport à la jachère herbacée.

Par la fixation de l'azote et son recyclage, l'espèce fixatrice d'azote, *A. polyacantha* a augmenté considérablement le bilan d'azote du système. L'espèce a accumulé dans son système racinaire autant d'azote qu'*E. camaldulensis* et *S. siamea* dans leur biomasse totale et leur litière. En outre, seul *A. polyacantha*, a montré une augmentation significative des stocks de carbone et d'azote du sol (couche 0-20 cm) après 6 ans d'âge. Le stock d'azote plus élevé et facilement minéralisable et l'accumulation de matière organique du sol dans la jachère à *A. polyacantha*, a été associée à un triplement du rendement du maïs en première année de remise en culture par rapport aux autres précédents, et un doublement en deuxième année. Cette augmentation très importante des rendements des cultures après jachère, n'a pas été observée après les autres précédents arborés. Ces résultats soulignent l'importance des compartiments organiques et le potentiel des arbres fixateurs d'azote dans la restauration de la fertilité des sols dégradés.

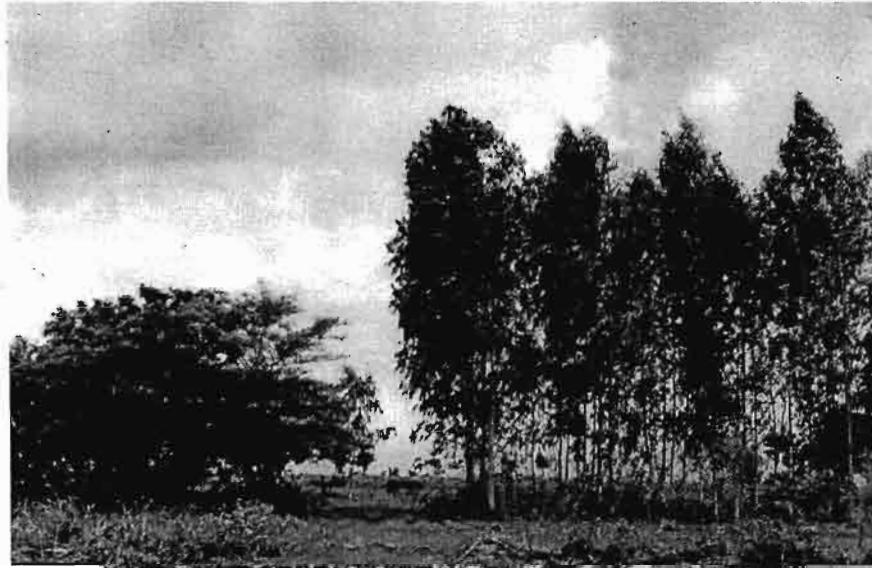
**Mots clés :** Nord Cameroun, Agroforesterie, fixation d'azote, gestion de la fertilité du sol, *Acacia polyacantha*, *Senna siamea*, *Eucalyptus camaldulensis*, culture de maïs

### Abstract

Different tree fallows planted with *Acacia polyacantha* or *Senna siamea* or *Eucalyptus camaldulensis* and an herbaceous fallow, were compared in an experimental setting on an organic matter –and nutrient- depleted soil, in the Garoua Region of Cameroon (1050 mm of annual rainfall). The objective was to assess their effects on carbon and nutrient dynamics, soil properties and the production of subsequent crops. Compared to the natural herbaceous fallow, planted tree fallows of 7 year old increased greatly 1) the accumulation of organic matter and nutrients in total biomass and 2) the uptake of soil nutrients from depth. As a result, after clearing the fallows by logging and burning non-harvested residues, the pool of exchangeable cations (especially Ca) in the top 10 cm soil layer was increased in the tree fallows in comparison to herbaceous fallows.

The N<sub>2</sub> fixing species, *A. polyacantha* increased the N budget of the system through N<sub>2</sub> fixation and N recycling. It accumulated in its root system as much N as *E. camaldulensis* and *S. siamea* accumulated in their total biomass and litter. Furthermore, only *A. polyacantha*, showed a significant

# Etude expérimentale du fonctionnement des jachères (cas du Nord-Cameroun)



increase of soil carbon and nitrogen content (layer 0-20 cm) after 6 years of age: The build-up of soil organic matter and the higher content of mineralizable N in the *A. polyacantha* fallow, was associated with tripling and doubling maize yields during the first and the second year, respectively, after fallowing. This significant increase in yields of subsequent crops was not observed after the other tree fallows. These results highlight the importance of organic compartments and the potential of N<sub>2</sub> fixing trees in soil fertility replenishment.

**Key words :** Agroforestry, Nitrogen fixation, Soil fertility management, *Acacia polyacantha*, *Senna siamea*, *Eucalyptus camaldulensis*, maize

## Introduction

En zone de savane d'Afrique sub-saharienne, la nécessité de nourrir une population croissante tout en préservant l'environnement, en particulier le capital sol, constitue un enjeu majeur, et il y a une nécessité, dans de nombreux cas, de restaurer des sols très dégradés suite à des cultures continues à faible niveau de fertilisation minérale et organique. Certains travaux agronomiques ont montré que la seule fertilisation minérale ne permet pas sur le long terme, un maintien ou une augmentation du rendement des cultures suite à une diminution des stocks organiques des sols et à une dégradation de toutes les propriétés physiques, chimiques et biologiques qui y sont liées (Pieri, 1989). L'introduction de pratiques agroforestières sous forme de jachères ligneuses améliorées, qui permettraient à la fois de maintenir ou de restaurer la fertilité (en agissant sur l'ensemble des cycles biogéochimiques) et de produire du bois ou un autre produit tel que la gomme arabique, apparaît comme une des alternatives prometteuses pour gérer durablement la fertilité des terres.

La situation des sols ferrugineux du Bassin de la Bénoué au Nord-Cameroun a servi de cadre à cette étude dont l'objectif était de comparer l'effet de diverses espèces ligneuses sur la fertilité du sol et de comprendre les processus écologiques en jeu par l'analyse du fonctionnement biogéochimique de chaque peuplement de jachère. Une jachère spontanée herbacée protégée contre le feu et le pâturage, et des jachères protégées et plantées en *Acacia polyacantha* (Mimosacée), *Senna siamea* (Caesalpinacée) et *Eucalyptus camaldulensis* (Myrtacée) ont été comparées à une culture continue.

## Matériels et méthodes

L'étude s'est appuyée sur un dispositif expérimental réalisé dans le village de Ngong au Sud de Garoua (Nord Cameroun). La pluviosité moyenne annuelle du site a été de 1050 mm au cours de l'étude. Le sol, de type ferrugineux, formé sur des grès du Crétacé Moyen, est pauvre en matière organique (MO), très sableux en surface et plus argileux en profondeur. Si dans l'horizon 0-10 cm, le taux d'argile + limons fins est inférieur à 10%, à 1 m de profondeur il est de 40%. Selon la capacité des espèces végétales à exploiter cette richesse minérale en profondeur, les bilans organique et minéral de la jachère seront modifiés.

Dans leur jeune âge, les arbres plantés ont été associés aux cultures : arachide en 1<sup>ère</sup> année et cotonnier en 2<sup>ème</sup> année. Ensuite, le terrain a été laissé sans culture pendant 5 ans jusqu'à exploitation des arbres alors âgés de 7 ans. Lors de la coupe des arbres, le bois de diamètre supérieur à 3 cm a été sorti des parcelles et les résidus d'exploitation ont été étalés puis brûlés avec la litière. Le labour en traction

animale a été effectué dans de bonnes conditions malgré les racines et les souches des arbres et la rotation de cultures maïs-coton a été pratiquée pendant 3 ans.

Dans cette étude, les méthodes classiques d'étude des cycles biogéochimiques (Ranger et Turpault, 1999) ont permis de quantifier les flux et les bilans organiques et minéraux à l'échelle des agro-écosystèmes, sur une base saisonnière, annuelle et pluriannuelle.

Le stockage des bioéléments dans la végétation ligneuse et herbacée des jachères a été évalué en distinguant les compartiments de biomasse aérienne, de biomasse racinaire et de litière. Les flux de bioéléments au sein des agro-écosystèmes ont été étudiés, en incluant les retombées de litière d'arbres et d'herbe et la décomposition des litières. Quelques flux majeurs du cycle de l'azote (minéralisation de l'azote du sol *in situ* et fixation de N<sub>2</sub> par la légumineuse) ont également été estimés.

L'évolution des caractéristiques physiques et chimiques du sol a été étudiée avec une analyse particulière de la dynamique des fractions organiques du sol. Cette approche a été complétée par une analyse du comportement des cultures après jachère.

## Résultats et discussion

En comparaison de la jachère herbacée, l'introduction d'arbres à croissance rapide dans la jachère a augmenté grandement l'accumulation de matière organique et de nutriments dans la biomasse aérienne et souterraine (Harmand et al, 2004a) ; de plus les espèces *A. polyacantha* et *E. camaldulensis* ont nettement accru la productivité de la jachère. En augmentant l'évapotranspiration du système, les arbres limitent le drainage profond et permettraient ainsi une réduction de la lixiviation et une meilleure rétention des éléments minéraux apportés par la pluie.

### **Le stockage des éléments dans le sol et la biomasse souterraine a revêtu une importance particulière...**

Dans un contexte de forte exploitation de la biomasse aérienne et de systèmes de culture à faibles apports d'intrants, le stockage de l'azote et des bioéléments dans les compartiments souterrains (MO du sol et phytomasse racinaire) est un processus majeur dont l'importance conditionne l'efficacité agronomique de la jachère. En effet, ces compartiments souterrains feront l'objet de dégradation biologique et de libération des nutriments lors des cultures succédant à la jachère. Du point de vue de l'économie de l'azote, le stockage souterrain de cet élément est d'autant plus important que le brûlis des résidus est la pratique courante avant mise en culture de la jachère. Le stockage de l'azote dans le système racinaire d'*A. polyacantha* à 7 ans (340 kg N / ha) équivalait au stockage d'azote dans la biomasse totale et la litière des autres espèces. D'autre part, le système racinaire de l'eucalyptus ne représentait que 18 à 27% de l'accumulation des différents nutriments majeurs dans sa biomasse et sa litière alors que ces proportions étaient de 39% à 52% pour *S. siamea* et 32% à 47% pour *A. polyacantha* (Harmand et al, 2004a). Par conséquent, *A. polyacantha* a présenté de loin les meilleurs atouts, *S. siamea* s'est montré au moins aussi favorable que la jachère herbacée, par contre *E. camaldulensis* n'a pas présenté les qualités requises pour une bonne jachère.

### **Par la fixation symbiotique et le recyclage de l'azote, *A. polyacantha* a amélioré le statut carboné et azoté du sol...**

Les différences significatives de teneur en carbone et azote du sol entre les types de jachère ont été limitées à la profondeur de 20 cm, et pour l'ensemble des modes de gestion du sol incluant la culture continue, à la profondeur de 40 cm.

Le peuplement d'*A. polyacantha* a été la seule jachère montrant une amélioration significative du statut organique du sol, avec une augmentation du stock de carbone de 2.5 t/ha (+28%) en 6 ans (4 ans de jachère) dans l'horizon 0-20 cm (approche diachronique). Cette amélioration était essentiellement due aux fractions organiques grossières (50-2000 µm) donc vraisemblablement à la présence de débris organiques peu évolués. Une augmentation de la teneur en C et N de la fraction organominérale (0-20 µm) a aussi été observée, indiquant une humification des débris végétaux (Harmand et al, 2004b) ; ce processus a déjà été mis en évidence par Bernhard-Reversat (1987) pour *Acacia seyal* à 14 ans au Sénégal. Dans le même temps le stock de C du sol en culture continue a décliné significativement de 1.9 t/ha.

La fixation d'azote atmosphérique par *A. polyacantha*, évaluée à 90 kg/ha/an (Harmand, 1997), et son recyclage important par l'intermédiaire de la litière en décomposition rapide, ont favorisé son stockage dans les différents compartiments de l'agro-écosystème en particulier dans les compartiments sol et racines. Le taux de minéralisation de l'azote du sol à 6 ans a été de quatre à sept fois plus important que dans les autres jachères (Harmand et Njiti, 1998).

### ***E. camaldulensis* prélève les éléments minéraux du sol et restitue peu en raison d'une forte accumulation de litière au sol ...**

Chez *E. camaldulensis*, à 7 ans, la forte accumulation d'éléments minéraux dans la biomasse et la litière au sol a été à l'origine d'un effet dépressif sur les caractéristiques chimiques du sol, ce qui a correspondu à une désaturation du complexe absorbant et à une baisse significative de CEC (résultats obtenus par Harmand et Njiti, 1998, en utilisant l'approche diachronique). A l'échelle du dispositif, les caractéristiques du complexe absorbant de l'horizon 0-10 cm : CEC, somme des bases, teneurs en Mg et Ca échangeables sont corrélés positivement avec le C du sol. La faible incorporation de MO au sol sous eucalyptus (Tableau 1) est associée à une plus faible porosité de l'horizon de surface que dans les autres jachères (Harmand et Njiti, 1998) et à un développement limité du système racinaire en surface (Harmand et al, 2003). Les effets défavorables des jeunes plantations d'*Eucalyptus* sur les caractéristiques chimiques du sol ont déjà été évoqués par différents auteurs : Pochon et al. (1959) au Maroc, Bernhard-Reversat (1987, 1988) au Sénégal, Bernhard-Reversat (1996) au Congo. Plus généralement, les effets néfastes des jeunes plantations forestières sur les caractéristiques chimiques du sol en surface sont une tendance pour de nombreuses espèces ligneuses. Au Nigéria, Chijicke (1980) note une baisse du taux de MO du sol sous *Gmelina arborea* comparativement à la strate herbacée environnante. Aux Philippines, Ohta (1990) constate une dégradation des caractéristiques organiques (C et N) et de la CEC sous *Acacia auriculiformis* de 5 ans ainsi qu'une baisse du taux de MO et une acidification du sol sous *Pinus kesiya* de 8 ans. Au Congo, Bernhard-Reversat (1996) constate,

Tableau 1 : Caractéristiques physicochimiques de l'horizon 0-10 cm (âge des peuplements de jachère : 6 ans) (D'après Harmand et Njiti, 1998)

Traitement	C total %	N total %	P Olsen mg g <sup>-1</sup>	pH	Ca	Mg	K	CEC
					Méthode cobaltihexamine (cmol kg <sup>-1</sup> )			
Culture continue	2,6 c	0,27 b	12,1 a	6,05 b	0,85	0,19 c	0,06	1,26 b
Jachère herbacée	3,4 b	0,34 a	5,62 b	6,41 a	1,13	0,35 ab	0,07	1,67 ab
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	3,1 bc	0,34 a	5,65 b	6,45 a	1,15	0,30 b	0,10	1,74 a
<i>Acacia polyacantha</i>	4,1 a	0,38 a	5,38 b	6,33 a	1,19	0,41 a	0,07	2,00 a

Dans une colonne, deux valeurs indexées d'une même lettre ne diffèrent pas à P = 0,05.

Tableau 2 : Caractéristiques physicochimiques de l'horizon 0-10 cm avant remise en culture, après brulis des résidus d'exploitation et labour (Age des peuplements de jachère : 7 ans) (D'après Harmand et Njiti, 1998)

Traitement	C total %	N total %	P Olsen mg g <sup>-1</sup>	pH	Ca	Mg	K	CEC
					Méthode cobaltihexamine (cmol kg <sup>-1</sup> )			
Culture continue	3,0 b	0,32 b	13,5	6,0 c	0,95 d	0,27 c	0,08	1,31 b
Jachère herbacée	4,7 a	0,41 a	6,0	6,5 b	1,35 c	0,43 ab	0,11	2,00 a
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	4,2 a	0,39 ab	14,5	7,7 a	2,22 a	0,39 b	0,11	2,41a
<i>Acacia polyacantha</i>	4,9 a	0,44 a	10	6,6 b	1,77 b	0,48 a	0,08	2,35 a

Dans une colonne, deux valeurs indexées d'une même lettre ne diffèrent pas à P = 0,05.

sous *A. auriculiformis* et *Acacia mangium*, à l'âge de 7 ans, une plus faible teneur en bases échangeables du sol (K, Ca, Mg) que dans la strate herbacée environnante.

La dégradation des caractéristiques chimiques du sol sous de jeunes plantations forestières serait due à l'augmentation de la minéralisation de la MO initiale et au prélèvement d'éléments minéraux par les arbres. Ces pertes ne seraient compensées que lentement par des apports liés à la décomposition des litières. Néanmoins, avec le temps, les auteurs observent en général une amélioration des caractéristiques du sol. Il existe une période de latence, variable selon l'espèce, entre la plantation et l'augmentation des taux de carbone et d'azote sous couvert. Dans notre étude, les espèces ligneuses ont influencé chacune différemment le cycle des bioéléments avec des effets favorables ou défavorables sur certaines caractéristiques du sol.

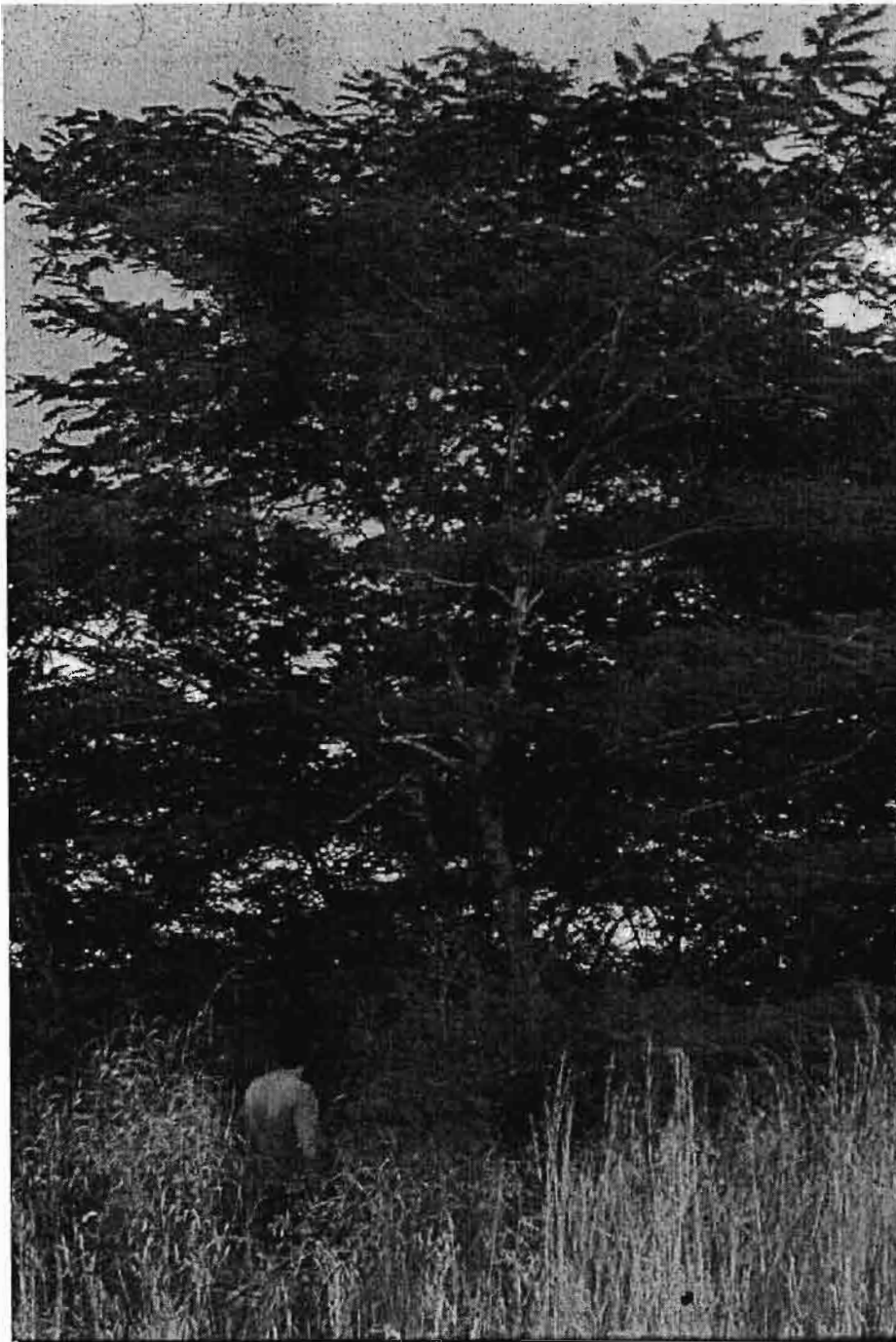
### **Les arbres associés au brûlis ont remonté les éléments minéraux dans les couches supérieures du sol**

Dans cette étude, les arbres se sont montrés supérieurs aux herbacées dans le transfert d'éléments minéraux (calcium en particulier) qui sont passés des couches du sol plus profondes que 40 cm, dans la phytomasse. Ce phénomène a permis, lors de l'exploitation et du brûlis des résidus, d'améliorer les caractéristiques minérales de l'horizon de surface du sol des jachères ligneuses par rapport à la jachère herbacée, ceci malgré les exportations de bois. En effet, la jachère herbacée a montré un plus faible taux de Ca échangeable et une plus faible somme des bases au moment de la remise en culture (Harmand et Njiti, 1998) (Tableau 2). Le brûlis de la litière et des résidus d'*E. camaldulensis*, dont la masse représentait deux fois celle des autres précédents arborés, a amélioré amplement l'effet de l'arbre sur le complexe absorbant en particulier sur le pH, la CEC, les taux de Ca échangeable et de P assimilable (Tableaux 1 & 2). L'effet du brûlis a été moins net avec les autres espèces ligneuses utilisées dans la jachère et au final, les caractéristiques du complexe absorbant différaient peu entre les précédents arborés au moment de la remise en culture (Oliver et al, 2000). Aussi l'intensité d'exploitation de la biomasse aérienne influence directement la conservation des nutriments du système et leur restitution à la surface du sol. Pour l'eucalyptus, l'écorçage des troncs sur le site aurait permis de réduire l'exportation de Ca de 70% et de Mg de 43% (Harmand et al, 2004a).

### **L'acacia a permis un transfert d'azote et une augmentation du rendement de la céréale cultivée après jachère...**

Sans apport d'engrais, les deux premières années de remise en culture ont montré un effet supérieur très net du précédent *A. polyacantha* sur la production du maïs. En première année, on observe un triplement de la production en comparaison des autres précédents (2,4 t/ha de maïs grain après *A. polyacantha* contre 0,6 à 0,8 après les autres jachères et 0,45 t/ha en culture continue) et en deuxième année un doublement de la production (4 t/ha de maïs grain après *A. polyacantha* contre 1,7 à 2,1 après les autres jachères et 1,3 t/ha en culture continue) (Oliver et al, 2000). En troisième année, l'arrière effet d'*A. polyacantha* a été surtout montré par le poids de grain par pied de maïs, nettement supérieur à celui des autres précédents. En revanche, au cours des trois années étudiées, les autres précédents ont montré peu de différence avec la culture continue. On a observé pour les trois années une

*Acacia polyacantha*





meilleure alimentation en azote et en magnésium du maïs après *A. polyacantha* (Oliver et al, 2000).

Par rapport aux autres systèmes étudiés, la plus grande capacité d'*A. polyacantha* à stocker de l'azote facilement minéralisable, à la fois dans la MO du sol et la phytomasse racinaire très développée en surface, explique son effet supérieur sur le comportement des cultures après jachère. Le pic de production de la culture pourrait coïncider avec la libération des nutriments par les débris végétaux et le système racinaire qui disparaît à 80% durant les deux premières années de remise en culture, en particulier sous l'action des termites (Oliver et al, 2000).

### **La fertilité du sol, une fois améliorée, doit être conservée...**

La jachère ligneuse améliorée peut être utilisée comme une technique agroforestière de réhabilitation de sol, à laquelle succéderait un système de culture conservateur de la fertilité du sol de type agriculture sous parc arboré ou agriculture sous mulch. Le parc arboré pourrait être constitué, en partie, par les arbres de la jachère. Parmi les espèces de notre étude, il ressort que, seule *A. polyacantha* (légumineuse fixatrice d'azote) permet une amélioration rapide du statut organique du sol et une augmentation significative du rendement des cultures après jachère. Dans le cas de cette espèce, des arbres pourront être conservés en phase de culture afin de fournir de l'azote facilement minéralisable aux plantes cultivées. L'élagage partiel de ces arbres permettra de réduire les éventuels effets néfastes qu'auraient sur les cultures, l'ombrage et la concurrence racinaire. Ainsi taillés, ces arbres fourniront du bois de service comme cela se pratique sur les Monts Mandara au Nord Cameroun. Cependant, l'inconvénient d'*A. polyacantha* est sa faible production non contrôlée de gomme arabique, faisant, pour l'instant, seulement l'objet de cueillette. Un autre acacia, d'origine sahélienne : *Acacia senegal*, se montre adapté aux conditions de pluviométrie de la zone soudanienne et fournit, dès l'âge de 4 ans, une gomme dure en quantité intéressante après saignée de l'arbre (50 à 250 kg/ha/an) (Harmand et al., 2012). Cette espèce fixatrice d'azote améliore les teneurs en C et N du sol (Gaafar et al, 2006) et représente un enjeu économique motivant sa plantation en milieu rural (Peltier et al, 2012).

### **Conclusion**

Pour caractériser l'impact des jachères sur la fertilité du sol, l'étude des compartiments organiques et des processus biologiques tels que, la dynamique du carbone et de l'azote du sol et le recyclage des nutriments, s'est révélée plus pertinente que les analyses chimiques de sol effectuées couramment en début de cycle cultural. En effet, l'action singulière d'*A. polyacantha* n'est pas montrée par les caractéristiques du complexe absorbant mais par les compartiments organiques du sol influencés par la fixation symbiotique de l'azote et son recyclage. L'aptitude agronomique des espèces ligneuses en jachère pourrait être évaluée par différents indicateurs comme l'aptitude à fixer l'azote, la production et la qualité des litières, les caractéristiques racinaires (biomasse et renouvellement) et les activités biologiques du sol liées aux cycles du carbone et de l'azote. Dans leur synthèse, Nygren et al. (2012), ont montré qu'en zone tropicale, la capacité des légumineuses arborées ou

arbustives à soutenir la production agricole est souvent sous-estimée et sous-utilisée.

## Références bibliographiques

- Bernhard-Reversat F, 1987.** Litter incorporation to soil organic matter in natural and planted tree stands in Senegal. *Pedobiologia* 30 : 401-417.
- Bernhard-Reversat F, 1988.** Soil Nitrogen Mineralization under a *Eucalyptus* Plantation and a Natural *Acacia* Forest in Senegal. *Forest Ecology and Management* 23 : 233-244.
- Bernhard-Reversat F, 1996.** Nitrogen cycling in tree plantations grown on poor sandy savanna soil in Congo. *Applied Soil Ecology* 4 : 161-172.
- Chijicke EO, 1980.** Impact on soils of fast-growing species in lowland humid tropics. FAO For. Pap., n°21, 30p.
- Gaafar AM, Salih AA, Luukkanen O, El Fadl MA, Kaarakka V, 2006.** Improving the traditional *Acacia senegal* - crop system in Sudan: the effect of tree density on water use, gum production and crop yields. *Agroforestry Systems*, 66: 1-11.
- Harmand JM, 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. (Bassin de la Bénoué au Nord-Cameroun). Thèse de Doctorat de l'Université de Paris VI soutenue le 6 octobre 1997, CIRAD-Forêt, IRAD, 213 p.
- Harmand JM, Njiti CF, 1998.** Effets de jachères agroforestières sur les propriétés d'un sol ferrugineux et sur la production céréalière. *Agriculture et développement*, Spécial sols tropicaux, 18: 21-29.
- Harmand JM, Donfack P, Njiti CF, 2003.** Tree-root systems and herbaceous species-characteristics under tree species introduced into grazing lands in subhumid Cameroon. *Agroforestry Systems* 59: 131-140.
- Harmand JM, Njiti CF, Bernhard-Reversat F, Puig H, 2004a.** Aboveground and belowground biomass, productivity and nutrient accumulation in tree improved fallows in the dry tropics of Cameroon. *Forest Ecology and Management* 188 (1-3): 249-265.
- Harmand JM, Njiti CF, Bernhard-Reversat F, Oliver R, Feller C, 2004b.** Changes in below ground carbon stocks during the rotation "tree improved fallow – crops" in the dry tropics of Cameroon. In: Book of Abstracts: 1<sup>st</sup> World Congress of Agroforestry, 27 June to 2 July 2004, Orlando, Florida, USA, p.182.
- Harmand JM, Ntoupka M, Mathieu B, Forkong Njiti C, Tapsou JM, Bois JC, Thaler P, Peltier R, 2012.** Gum arabic production in *Acacia senegal* plantations in the Sudanian zone of Cameroon: Effects of climate, soil, tapping date and tree provenance. *Bois et forêts des tropiques* (311) : 21-33.
- Nygren P, Fernández MP, Harmand JM, Leblanc HA, 2012.** Symbiotic dinitrogen fixation by trees: an underestimated resource in agroforestry systems? *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 94: 123–160
- Ohta S, 1990.** Initial soil changes associated with afforestation with *Acacia auriculiformis* and *Pinus kesiya* on Denuded Grasslands of the Pantabagan Area, Central Luzon, the Philippines. *Soil Sci. Plant. Nutr.* 36 (4): 633-643.
- Oliver R, Njiti CF, Harmand JM, 2000.** Analyse de la durabilité de la fertilité acquise suite à des jachères arborées au Nord-Cameroun. *Etude et Gestion des Sols*, Numéro spécial, vol. 7, 4: 287-309.
- Peltier R, Harmand JM, Montagne P, Palou Madi O, 2012.** ETUDE DE CAS N°6 : Plantation de jachères ligneuses légumineuses, régénération naturelle assistée des parcs arborés et plantation de haies pour la restauration de la fertilité des sols. Réussite et limite des projets DGPT et ESA au Nord-Cameroun. [S.l.] : [s.n.], [9] p.
- 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 (FRA), 444 p.
- Pochon J., De Barjac H., Faivre-Amiot, 1959.** L'influence de plantations d'eucalyptus au Maroc sur la microflore et l'humus du sol. *Annales de l'Institut Pasteur* 97 (3) : 403-406.
- Ranger J. et Turpault M.P., 1999.** Input-Output nutrient budgets as a diagnostic tool for sustainable forest management. *Forest Ecology and Management* 122, 139-154.

**Restauration de la productivité  
des sols tropicaux et méditerranéens  
Contribution à l'agroécologie**

Version préliminaire



**Eric ROOSE**  
Editeur scientifique

**IRD Editions**  
INSTITUT DE RECHERCHE POUR LE DEVELOPPEMENT  
MONTPELLIER, JUILLET 2015