

QUELQUES ASPECTS DES RELATIONS SOL-PLANTE DANS LES SYSTEMES AGROFORESTIERS ET FORESTIERS PLANTES TROPICAUX

F. Bernhard-Reversat

Laboratoire d'Ecologie, ORSTOM

B.P. 1286, Pointe Noire, République Populaire du Congo

Résumé: La végétation ligneuse comparée à la végétation herbacée, présente un certain nombre de caractères propre, en particulier la répartition des racines, les caractères chimiques des litières, l'accumulation de matière organique pérenne, qui vont contribuer à la différenciation de l'écosystème de type forestier au niveau des relations entre plante et sol. Par l'intermédiaire du microclimat et des caractéristiques chimiques cette différenciation va être très importante en ce qui concerne la biologie du sol et le cycle de la matière organique. La circulation des éléments minéraux va être dépendante de ce cycle et de la structure des systèmes racinaires, permettant en particulier l'absorption d'éléments minéraux en profondeur et leur accumulation en surface. Ce processus est à l'origine également de l'effet améliorant des jachères forestières sur le statut minéral du sol. Le cas de l'azote est toutefois différent puisqu'il peut être pris d'une source extérieure au système par certaines plantes en symbiose avec des bactéries fixatrices. L'association aux arbres d'une autre culture, selon des systèmes agroforestiers divers, introduira des processus de compétition notamment dans les cycles minéraux et, en zone sèche, dans le cycle de l'eau. Ces processus seront fonction de la structure du système et plus particulièrement de l'organisation racinaire, mais également des modifications des apports de matière organique et du turn-over de celle-ci. Le choix d'un système agroforestier doit prendre en compte le fait que plus l'association arbre-culture est intégrée, plus elle est de caractère compétitif et moins elle est mutualiste, excepté en ce qui concerne l'azote.

Abstract: Woody and herbaceous vegetation differ, inter alia, in their root distribution, litter chemistry, and perennial organic matter, which partly explains the differentiation of plant-soil relationships within a forest-type ecosystem. This differentiation, as concerns the soil biology and the organic matter cycle, can be connected to changes in the microclimatic conditions and the chemical characteristics of the vegetation. The circulation of minerals e.g., absorption at deeper levels and accumulation at the surface, will depend on the cycle and on the structure of the root systems. This process also determines the ameliorative effects of forest fallow on the mineral status of the soil. Nitrogen, however, presents a different case since certain plants, symbiont with nitrogen-fixing bacteria, can draw on a source outside the system. Intercropping trees with another crop, through an agroforestry system, introduces competition, especially for minerals, and, in the arid zones, for water. The whole process depends on the structure of the system, the availability and turnover of organic matter, and, in particular, the root system. As tree-crop integration becomes stronger, competition becomes sharper and mutual benefit becomes weaker (except as concerns nitrogen). This must be borne in mind when choosing an agroforestry system.

Les relations sol-plante dans les écosystèmes herbacés et forestiers tropicaux ont fait l'objet de nombreuses études de bases, qui ont mis en évidence leurs comportements différents concernant le microclimat, la biologie du sol, l'évolution de la matière organique, la nutrition minérale, etc... Cependant la diversité des écosystèmes arborés et des problèmes qu'ils posent est telle que bien des recherches sont encore à faire et qu'il est nécessaire de mobiliser les moyens et les chercheurs permettant de faire avancer nos connaissances.

Le but de cet exposé est de résumer les principales caractéristiques des relations sol-plante dans les systèmes forestiers au niveau de la matière organique et de la circulation des éléments minéraux, puis de mettre en évidence quelques uns des problèmes posés dans ce domaine par les agrosystèmes que sont les plantations forestières et les systèmes agroforestiers.

La différenciation du milieu forestier est liée aux caractéristiques des végétaux ligneux et nous pouvons citer les principales: la structure du végétal ligneux permet le développement d'un microclimat particulier dans l'espace relativement clos formé sous la couronne, d'autant plus accentué que celle-ci forme une barrière épaisse. Le système racinaire des végétaux ligneux s'étend plus profondément que celui des végétaux herbacés et plus largement en surface. Le végétal ligneux accumule dans sa biomasse une partie des éléments minéraux précédemment dans le sol. Les retombées végétales des ligneux ont une composition chimique et biochimique différentes de celles de la végétation herbacée d'une part à cause de la présence de branches et brindilles, d'autre part parce que les feuilles elles-mêmes sont généralement plus riches en lignine que les feuilles des plantes herbacées, ce qui influence la décomposition et éventuellement la consommation. Par ailleurs les litières arborées sont souvent plus pauvres en azote, phosphore et potassium et plus riches en calcium que les litières herbacées, bien que ce ne soit pas une règle absolue.

Les conséquences de ces caractères au niveau de l'écosystème sont multiples, et nous nous intéressons plus spécialement à celles qui concernent l'évolution de la matière organique du sol et les cycles biogéochimiques.

L'évolution de la matière organique du sol

Influence des arbres sur la matière organique du sol

Parmi les caractéristiques citées plus haut, celles qui vont plus particulièrement agir sur l'activité biologique et la matière organique du sol sont le microclimat et la composition chimique des retombées végétales. Nous examinerons le cas des régions tropicales sèches et humides.

Régions tropicales sèches

En zone sahélienne (environ 300 mm de pluie par an) on a pu comparer (Bernhard-Reversat, 1981), dans un milieu à très faible productivité, la répartition du carbone sous savane et sous arbre (Fig. 1). La différence est faible et ne se fait sentir que dans les premiers centimètres mais elle marque nettement la surface du sol correspondant à celle de la couronne. Deux facteurs sont à l'origine de cet enrichissement: d'une part il y a une augmentation de la production herbacée qui passe dans le cas étudié de 300g/m² à 400 ou 500 g/m² sous les arbres, grâce au microclimat et à l'enrichissement minéral, augmentant ainsi l'apport organique au sol. D'autre part la litière d'arbre, bien que représentant une faible part du total (70 à 120 g/m²) est de par sa composition plus difficilement dégradée et moins consommée par les termites. Il est donc probable qu'elle participe à l'enrichissement du sol dans une proportion supérieure à sa part dans la masse apportée. Dans ces milieux peu productifs le processus est lent et progressif, ainsi que le montre la corrélation obtenue avec la circonférence du tronc à défaut de l'âge de l'arbre (Fig. 2). L'espèce végétale considérée a une influence sur le taux d'enrichissement, soit par l'apport de litière plus ou moins riche, soit par la durée de vie de l'arbre.

Figure 1. Répartition du carbone et de l'azote sous arbre dans le sahel sénégalais (Bernhard-Reversat)

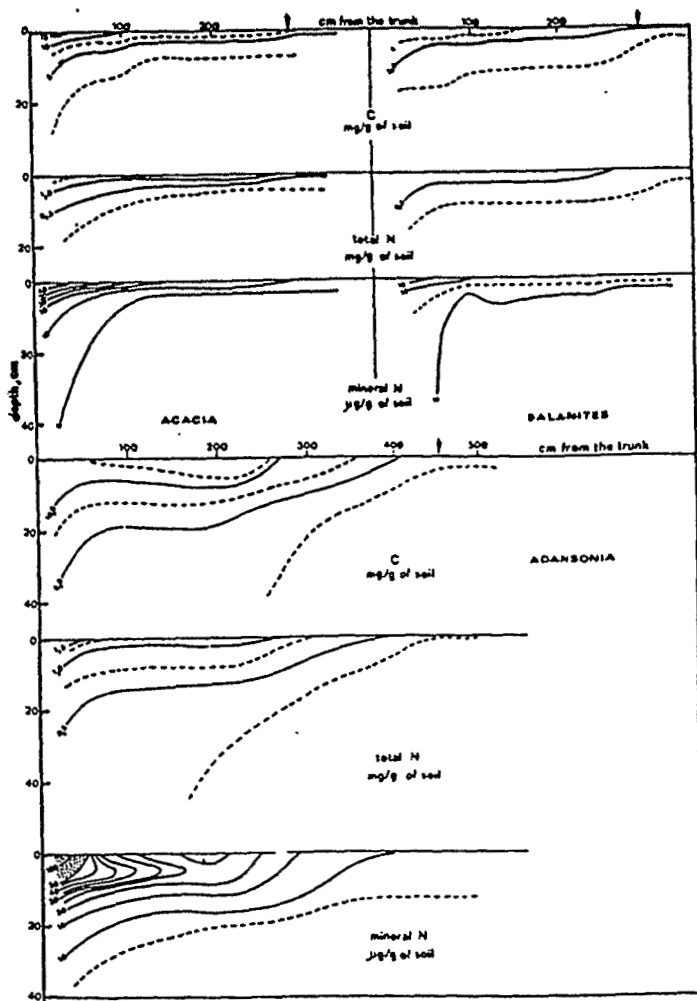


Figure
Triangl

s'acce
en ca
L'effe
(Giffa

augm
sols d
produ
obter

Tabl

0-2

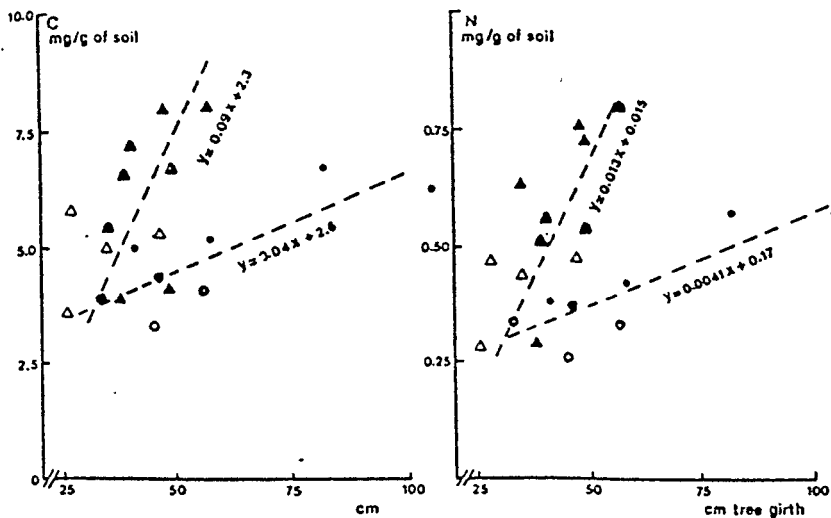
0-10

0-20

fait

plar
acce
élev

2. Teneur de l'horizon 0-10 cm du sol en C et N sous arbre en fonction de la circonférence du tronc (Sénégal)
 Les: *Acacia senegal*; ronds: *Balanites aegyptiaca* (d'après Bernhard-Reversat)



Sous un climat moins extrême (500-800 mm de pluie par an), la productivité augmentant, les différences existent dans la même situation d'arbres isolés en peuplement naturel. Ainsi sous *Acacia albida* la teneur moyenne de l'horizon 0-10 cm qui est de 4,1% en savane passe à 6,5-8,1% sous couronne (Jung, 1970). L'effet de l'*Acacia albida* et d'autres arbres légumineux de zone sèche a été souligné par divers travaux (Singh et al., 1964; Singh et al., 1969).

Les résultats concernant l'effet des plantations d'arbres en zone sèche sont peu nombreux. Si elles existent la teneur en matière organique du sol de savane, elles diminuent dans un premier temps, celles des peuplements forestiers naturels, l'augmentation étant ensuite très lente en raison de la faible productivité. L'espèce d'arbre est un des principaux facteurs du taux d'accumulation. Ainsi au Sénégal on a vu les résultats du Tableau 1.

Tableau 1. Teneurs du sol en carbone (%) sous différentes végétations en sol sableux au Sénégal (plantations de 7 à 9 ans, pluviométrie: 500-800 mm/an)

	<i>Acacia seyal</i> forêt	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> planté	<i>Prosopis juliflora</i> planté	<i>Azadirachta indica</i> planté	cultures (mil)	savane
0-20 cm	61,5	15,8	45,6	33,2	-	-
20-40 cm	15,8	7,7	8,6	8,7	-	4,1
40-60 cm	10,6	5,5	-	-	1,9-2,5	-

Pour les plantations d'une dizaine d'années, l'influence de la plantation sur la matière organique ne se fait pas sentir à plus de 20 cm de profondeur, et l'accumulation se fait essentiellement en surface.

Régions tropicales humides

Comme en zone sèche on peut distinguer le cas des plantations faites en savane de celui des plantations faites en forêt. Dans le premier cas on observera un enrichissement du sol qui ne sera pas plus marqué que dans les conditions sahélo-soudanaises précédentes. En effet si la productivité est plus élevée, les conditions climatiques sont plus favorables à la décomposition, ralentissant ainsi l'accumulation.

Tableau 2. Teneur du sol en carbone (%) sous différentes végétations en sol sableux au Congo (plantations de 6 à 9 ans, pluviométrie de 1250 mm/an)

	<i>Eucalyptus</i> spp.	<i>Eucalyptus</i> spp. > 25 ans	<i>Acacia</i> <i>mangium</i>	<i>Acacia</i> <i>auriculiformis</i>	<i>Pinus</i> <i>caribaea</i>	savane
0-2 cm	14,0	-	26,0	-	6,0	9,8
0-10 cm	7,0	16,3	9,8	10,1	-	7,5

Celle-ci n'est encore sensible qu'en surface sous des *Eucalyptus* de 7 ans. Sous pins on aurait un appauvrissement à court terme, qui a été observé également au Nigéria par Kadeba et al., (1985) dans des conditions climatiques identiques et plus humides, jusqu'à 14 ans au moins. En région forestière humide on peut observer soit un appauvrissement soit un enrichissement. Le maintien ou reconstitution du stock d'humus dépend bien sûr de l'espèce plantée, mais aussi de la structure de la plantation et de la diversité des espèces non plantées. Les données disponibles sont trop peu nombreuses pour que l'on puisse établir les relations précises.

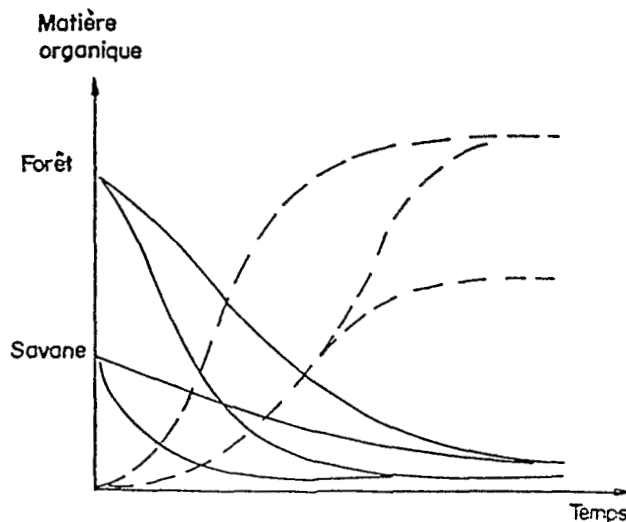
Tableau 3. Teneur en carbone (%) de quelques plantations et forêts en zone forestière humide - horizon supérieur.

Sénégal 1100 mm	Forêt 16,6	Teck > 10 ans 9,9-12,3	culture 5,8	Maheut et al. 1956
Côte d'Ivoire 2000 mm	Forêt 21,2	<i>Terminalia</i> <i>ivorensis</i> - 38 ans 29,1		Bernhard-Reversat 1976
Congo 1250 mm	Forêt 22,1	<i>Terminalia</i> <i>superba</i> > 30 ans 14,4	<i>Terminalia</i> <i>superba</i> + bananier 20,7	

Discussion

Théoriquement dans tous les cas, que la plantation soit faite sur savane ou sur sol forestier l'évolution de la matière organique du sol est la résultante de deux courbes: l'une correspond à la disparition de la matière organique initiale accumulée à partir de la végétation naturelle, et l'autre à la constitution d'un stock de matière organique issue de l'espèce plantée (Fig. 3). Si on ne connaît pas actuellement de marqueur permettant de reconnaître la matière organique de la forêt naturelle de celle des arbres plantés, on sait dans certains cas distinguer la matière organique issue de végétations différentes. C'est le cas lors du passage de la savane à la plantation forestière (ou inversement). Les graminées de savanes ont un rapport isotopique $^{13}C/^{12}C$ qui diffère de celui des arbres et ce rapport se retrouve dans la matière organique du sol. Cela permet de déterminer les deux courbes de la Figure 3. Des chercheurs ont pu mettre en évidence que l'espèce plantée pouvait non seulement agir sur le taux d'accumulation, mais également sur le taux de disparition de la matière organique initiale (Schwartz et al., 1989).

Figure 3. Courbes théoriques d'évolution de la matière organique lors d'un changement de végétation



Les différences observées entre espèces dans l'efficacité de l'accumulation sont en partie liées aux caractéristiques chimiques des litières, en particulier:

- sa teneur en azote dont dépend la vitesse de décomposition et de transfert des résidus au sol (Aber et al., 1980);
- sa teneur en lignine. Meentemeyer (1978) a montré que sous un climat donné la vitesse de décomposition était inversement proportionnelle à la teneur en lignine. D'autres auteurs ont également mis cette relation en évidence (Berendse et al., 1987);
- la teneur en substance carbonées hydrosolubles: elle peut atteindre 20 à 25% ou plus, chez l'*Eucalyptus* en particulier. Ces substances sont rapidement lessivées et ne seront retenues par le sol que s'il contient suffisamment d'argile (Bernhard-Reversat, 1987).
- la teneur en tanins qui contribue à rendre la matière organique résistante à la dégradation.

Si l'espèce plantée joue un rôle important directement et par l'intermédiaire de son action sur l'activité biologique du sol, le sol lui-même a une influence importante sur l'accumulation de matières organiques, nous nous contenterons de rappeler ici, par sa texture principalement. Les différences entre espèces sont également liées à leur productivité. Ainsi sur sol pauvre on observe couramment une plus forte accumulation de matière organique sous les arbres fixateurs d'azote qui produisent plus, n'étant pas limité par l'azote du sol.

Les systèmes agroforestiers

Nous ne ferons ici qu'évoquer le problème car les données dans ce domaine sont trop peu nombreuses. On sait que la plupart des cultures tropicales provoquent une chute du taux de matière organique du sol plusieurs fois démontrée. La mise à nu du sol et l'exploitation des résidus végétaux empêchent toute accumulation. Dans ces conditions la présence d'arbre, naturelle ou par plantation, maintient ou augmente le taux de matière organique du sol, plus efficacement lorsqu'il s'agit d'une légumineuse. L'observation en a été faite dans le système mil/*Acacia albida*. Dans un essai de culture en allées à l'IITA (Nigeria) la teneur en carbone du sol en carbone a chuté de 10,7% à 6,5% par exploitation des résidus d'élagage des *Leucaena*.

Les résultats ne sont pas si simples si on considère certaines cultures capables de fournir au sol un apport important de matière organique, comme le bananier ou des cultures arbustives en zone humide. La présence d'arbres en créant un milieu différent et changera l'évolution du stock organique. Un exemple en a été donné par l'association *Terminalia superba* (limba)/bananier conduite dans le Mayombe congolais. Dans ce système agroforestier est recréé un milieu et un microclimat forestier, qui, par rapport aux bananeraies découvertes à découvert, maintient des conditions très favorables à la décomposition des litières et de la matière organique. On a montré d'autre part que le mélange des litières de bananier et de limba se décompose plus vite que chaque litière séparément. Il en résulte que malgré un apport important de matière organique par le limba (près de 7 t/ha/an) le sol superficiel peut être significativement plus pauvre en matière organique dans le système en association que dans les bananeraies pures (Tableau 4).

Tableau 4. Teneur en carbone (%) du sol sous différentes végétations en zone forestière (Congo)

	Limba seul	Limba +bananier	Bananier seul	Limba +cacaoyer
0-10 cm	14,4	16,0	19,0	16,7
10-20 cm	-	56	85	51

Les cycles biogéochimiques des éléments minéraux

L'évolution de la matière organique du sol va conditionner en grande partie la circulation des éléments minéraux, et par conséquent la nutrition minérale de la végétation, surtout sur les sols sableux. En effet en l'absence d'argile, ou si celle-ci a une faible capacité d'échange, la matière organique du sol, litière comprise, constituera une réserve importante d'éléments minéraux, sa destruction entraînant leur lessivage. Son rôle est moindre dans les sols riches, mais ceux-ci ne sont pas la majorité sous les tropiques.

Généralités

Le schéma général de la circulation des éléments minéraux est bien connu, et de nombreuses représentations en ont été faites. En milieu forestier ce cycle est caractérisé par un déplacement progressif des réserves minérales assimilables du sol. Celles-ci sont transférées en partie dans la biomasse pérenne où elles sont immobilisées, (non disponibles) pour une durée plus ou moins longue. D'autre part, par le mécanisme des restitutions par les litières, il y a accumulation dans les horizons supérieurs du sol des éléments minéraux absorbés à une plus grande profondeur par le système racinaire. Dans une forêt tropicale climatique le stock accumulé ainsi permet que toute une partie du cycle passe par la litière et l'horizon humifère où les éléments sont directement absorbés par un chevelu dense de racines. Ce caractère, appelé souvent "direct cycling", ou recyclage direct, est d'autant plus accentué que le milieu est humide, permettant aux racines de vivre dans la litière, et que le sol est pauvre (Jordan, 1982). Dans la perspective de l'évolution des sols, Stark (1978) estime que le stade d'évolution qui voit l'intensification du "recyclage direct" est le début du déclin dans la vie d'un sol.

Le processus d'enrichissement de la surface du sol sous les arbres par restitution des éléments absorbés en profondeur est contesté au moins dans certaines situations et n'est pas le seul mécanisme en jeu. Kellman (1979) après avoir mis en évidence l'enrichissement du sol sous les arbres en savane humide (à Belize) a constaté l'absence de racine au dessous de 30 cm de profondeur. Cet auteur attribue l'enrichissement du sol à l'augmentation de sa capacité d'échange par la matière organique produite par l'arbre, qui permet le piégeage des éléments minéraux contenus par les pluies. Ceux-ci, en dehors du couvert, seraient lessivés en profondeur. Ce processus, qui dans le milieu étudié par Kellman semble exclusif, peut intervenir également parallèlement à l'action des racines de profondeur.

Le cycle de l'azote est différent de celui des autres éléments minéraux car l'origine de cet élément est exclusivement atmosphérique, et le cycle comprend des échanges dans les deux sens entre le sol et l'atmosphère. Les plantes non fixatrices utilisent l'azote minéralisé à partir de l'azote organique dont le stock a été constitué au cours du temps par les microorganismes libres ou non. Dans le domaine de l'intervention humaine la possibilité d'augmenter rapidement le taux d'azote du sol par l'installation de plantes fixatrices est une exception dans la gestion des cycles biogéochimiques. C'est le seul cas où, en ce qui concerne les éléments minéraux, une plante puisse être considérée comme "fertilisante" au sens strict. Pour les autres éléments, la plante ne peut que restituer ce qu'elle a prélevé dans le sol. Son intervention dans l'amélioration du statut minéral d'un sol se fera par le déplacement des réserves minérales et par leur conservation dans la matière organique du sol. Dans ces deux processus les arbres auront une efficacité particulière par rapport aux plantes herbacées.

Les plantations forestières

Les résultats dont on dispose permettant de comparer les cycles biogéochimiques de plantations forestières à ceux du milieu naturel montrent que les flux d'éléments minéraux entre la végétation et le sol se reconstituent rapidement en milieu forestier. Mais d'après le Tableau 5 il semblerait que le niveau initial soit atteint plus facilement sur sol argileux que sur sol sableux où les pertes sont plus importantes, le niveau dans le premier cas est même dépassé, car il dépend, en conditions minérales satisfaisantes, de la productivité de l'espace végétale.

Tableau 5. Flux d'éléments minéraux en plantations forestières exprimés en pourcentage du flux dans le milieu naturel correspondant

FL: apport au sol par les litières. FT: apport au sol total (litière + pluviolessivage + strate herbacée éventuelle)

	âge ans	N FL	FT	P FL	FT	K FL	FT	Ca FL	FT	Mg FL	FT	
<i>Agave</i>	24(a)			58		57		65		63		d'après Bruijnzel 1979
<i>lanceolata</i>	18(a)			42		35		90		52		
<i>Terminalia</i>	38(b)	99	86	63	81	41	43	76	78	100	64	Bernhard- Reversat 1976
<i>ivorensis</i>	22(c)	99	101	90	67	162	114	114	116	118	84	
<i>Eucalyptus</i>	8(b)	74	66	54	88	161	73	121	94	116	78	id. 1987
<i>camaldulensis</i>	7(c)	102	120	92	130	249	134	154	123	117	127	

(a) sol volcanique (b) sol sableux (c) sol argileux ou argilo-sableux

En sol de savane il faudra un temps plus long pour que s'établissent les réserves de surface et la possibilité pour l'arbre d'augmenter sa productivité par le recyclage direct. Quelque soit le milieu de part, en région humide le processus de "circulation directe" se reconstitue avec l'accumulation progressive de matière sur le sol et le développement d'un chevelu racinaire qui est d'autant plus rapide que le milieu est humide du milieu forestier humide (Tableau 6). Néanmoins les résultats de Cornforth (1970) montrent que même en milieu très humide le rapport de racines sur litière de feuilles n'atteint que 1 en plantation pour 2 en forêt.

Tableau 6. Développement des racines dans la couche de litière en plantations forestières

Précipitations m/an	Espèce	Age ans	Racines t/ha	R/P(2)
1,25	<i>Acacia mangium</i>	5	0,12	0,01
"	<i>Eucalyptus</i> spp.	9	0,18	0,03
2,6 à 3,0	<i>Pinus caribea</i> (1)	12	5,0 à 10,9	0,33 à 1,15
"	forêt naturelle(1)	-	8,3 à 13,6	1,82 à 2,12

d'après Cornforth, 1970.

(2) Poids de racines/poids de litière de feuilles sur le sol

Si la "circulation directe" est théoriquement globalement suffisante dans un peuplement en équilibre comme la forêt naturelle quand la biomasse ne croît pas, il est évident que ce n'est pas le cas dans une plantation productive où une part des éléments minéraux est immobilisée dans le bois.

Enfin, comme dans les cultures, le cycle des éléments minéraux en plantation forestière subit les pertes par exportation, qui ont été dans beaucoup de cas évalués. Leur importance dans les plantations à courte rotation doit être prise en compte dans les aménagements forestiers.

Les associations spontanées et agroforestières

Les associations arbre-strate herbacée spontanée

Il s'agit d'un modèle d'association dont il est intéressant d'étudier le fonctionnement. Il se présente en particulier en zone de savane sèche ou sub-humide. En régions de climat sec le chevelu racinaire des arbres ne se développe pas à la surface du sol à cause du dessèchement fréquent de la litière. Cette situation permet l'installation, à chaque saison des pluies, d'une strate herbacée spontanée dont les racines occupent la zone superficielle (Fig. 4A). Ainsi en plantation d'*Eucalyptus* au Sénégal les racines se répartissent dans les 20 premiers centimètres comme suit (g/m²).

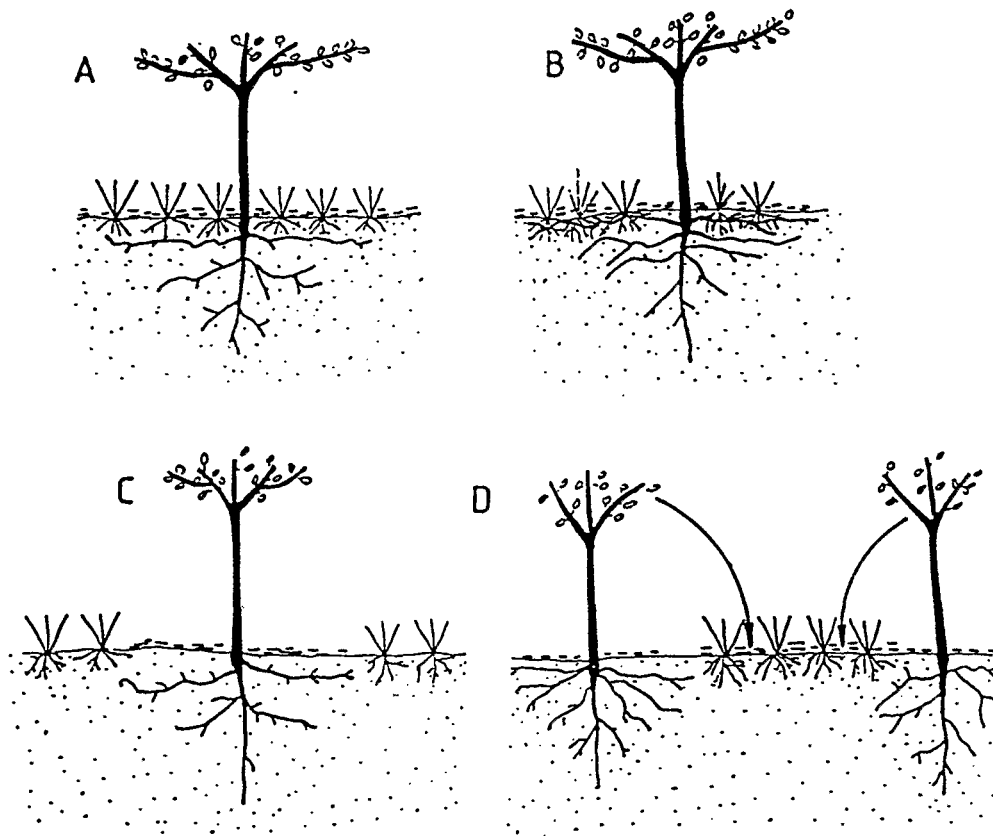
	Graminées	<i>Eucalyptus</i>
0-10 cm	172	60
10-20 cm	18	95

Pendant la saison des pluies se produit la décomposition de la litière et la libération des éléments minéraux, qui vont bénéficier en grande partie à la végétation herbacée dont les racines sont les mieux à même de les intercepter; il va se créer un cycle secondaire. Dans la plantation d'*Eucalyptus* citée celui-ci recycle environ 50% du phosphore, 40% du potassium, 30% de l'azote et du magnésium, et 10% de l'azote circulant annuellement dans la végétation. Dans le peuplement naturel sur le même sol (forêt à *Acacia*) la strate herbacée recycle environ 60% du potassium, 40% de l'azote et du phosphore, 30% du potassium et du magnésium, mais ce peuplement est en équilibre avec une croissance très lente des arbres et une immobilisation faible. Dans le cas des plantations où l'on recherche une croissance rapide impliquant une forte immobilisation, la part des éléments "détournés" par la strate herbacée est préjudiciable à leur croissance. Ceci est particulièrement important pour l'azote dont la source est essentiellement en surface et qui se minéralise l'azote organique.

On retrouve ces problèmes dans les jeunes plantations forestières de régions humides, lorsque les racines des jeunes arbres ne sont pas encore établies en surface faute d'une couche de litière suffisante; les racines minérales s'installent. L'effet du désherbage sur la croissance des jeunes arbres est bien connu (Fig. 4C). Un récent mémoire fait au Congo (Dembi, 1988) montre que cet effet se fait sentir deux mois avant l'effet du désherbage sur l'humidité du sol, ce qui laisse supposer qu'il y a en premier lieu diminution de la

concurrence pour les minéraux avant une action sur la concurrence hydrique. Le diamètre minimum de désherbage efficace indique l'extension racinaire des plants.

Figure 4. Exemples de relations spatiales des racines dans des associations ligneux - herbacés



Associations arbres-cultures herbacées

Un système de culture herbacée sous arbre fonctionnera selon le modèle précédent, la culture bénéficiant d'un apport au détriment de la nutrition minérale de l'arbre. Aussi est-il rarement envisagé avec des arbres plantés pour leur production. Par contre un tel système est possible avec des arbres en peuplements naturels à faible productivité. L'association est alors bénéfique essentiellement à la culture. Un exemple en est donné par le système de culture mil/*Acacia albida* répandu en zone sahélienne. L'arbre enrichit le sol en phosphore, calcium, et surtout en azote (Jung, 1969), et on a montré que dans le système naturel *Acacia*-graminées la majeure partie du cycle biogéochimique transitait par la strate herbacée. Le remplacement des herbes par une culture, souvent le mil, permet une augmentation significative des rendements (Poschen, 1986). Dans ce système, la concurrence est limitée par la faible demande de l'arbre.

Une autre possibilité pour éviter la concurrence est de séparer les volumes de sol exploités par les racines de chaque élément de l'association, comme dans le système "taungya" et la culture en allées. Dans ce dernier cas la production ligneuse n'est pas le but de l'association, et on crée artificiellement un déplacement des réserves minérales: les éléments minéraux absorbés par l'arbre sont transportés au niveau de la culture intercalaire (Fig. 4D).

Associations arbres-arbres ou arbustes

De tels systèmes se rencontrent essentiellement en zone humide où l'eau n'est pas un facteur limitant, et créent par leur structure un milieu qui se rapproche du milieu forestier. Dans ces systèmes les cycles biogéochimiques ont certains caractères des cycles de la forêt tropicale: flux important par la litière et les eaux, accumulation d'éléments minéraux dans les horizons de surface, circulation directe par un feutrage de racines dans la litière.

On peut assimiler à de telles associations les plantations d'arbres faites en zone forestière qui sont, lorsque cesse leur entretien, colonisées par d'autres espèces. Ainsi dans les plantations de *Terminalia ivorensis* étudiées en Côte d'Ivoire, ceux-ci ne représentent que 30 à 35% des arbres de circonférence

supéri
foncti

café e
Cordi
atteig
(Tabl
qui cc
prélev
des es
"détou
d'expl
l'enric
concu

Tablea

Litière
nature

Elagag

d'aprè

souv
sol a
de co
la pr
D'aut
de ce
favor
peu c

termi
Cepe
En si
prop
choix
de m

Référe

Aber,

Beren

lieure à 40 cm, et la structure créée se rapproche de celle de la forêt naturelle de même que son fonctionnement, et en particulier les flux d'éléments minéraux (Bernhard-Reversat, 1979). Des associations de ligneux sont couramment pratiquées en Amérique Centrale pour la culture du café et du cacao. Les exemples étudiés par Heuvelodop et al. (1985) sont des associations de caféier + *Alseodora* et caféier + *Erythrina poeppigiana* de 5 à 8 ans. Dès cet âge les retombées végétales sont de l'ordre de 7,4 à 8,8 t/ha/an, et les flux d'éléments minéraux par les litières sont également importants (tableau 7). L'augmentation du flux d'azote dû à la présence d'une légumineuse est remarquable. En ce qui concerne les autres éléments les flux ne constituent pas un apport mais une restitution de ce qui est restitué et il faut se garder d'utiliser la notion de "fertilizer equivalent" (Glover et al., 1986). Plus la litière des espèces associées au café apporteront d'éléments minéraux par cette voie, et plus la part qu'elles représentent à leur profit et au dépend de la culture de base sera importante. Si au départ les zones d'exploitation du sol par les racines des différentes espèces peuvent être différentes, au cours du temps avec le lessivage de l'horizon supérieur la zone la plus exploitée sera de plus en plus superficielle et la différence augmentera.

Ainsi on a pu observer au Congo que l'association cacaoyer-*Terminalia superba* après quelques années connaît un ralentissement de la croissance du *Terminalia* par rapport à ceux qui sont plantés seuls (le rendement du cacaoyer n'a pas été étudié). Ce type d'association, surtout si elle ne comprend pas des légumineuses, ne peut être durable que sur des sols riches.

Il existe par contre des associations élaborées pour que les volumes de sol exploités soient relativement élevés, comme les plantations de cacaoyers sous cocotiers décrites par Nair (1983) qui en a étudié les racines racinaires. De telles études des racines qui seules permettent d'aménager des systèmes avec une concurrence minimum sont malheureusement souvent impossibles faute de pouvoir distinguer les racines de la culture de la espèce.

Tableau 7. Flux d'éléments minéraux dans les résidus végétaux sous les associations: 1: caféier-*Erythrina*, 2: caféier-*Cordia*

	N		P		K		Ca	
	1	2	1	2	1	2	1	2
1985	175	114	11	8	75	55	122	110
1986	286	-	24	-	184	-	121	-

Source: Heuvelodop et al. 1985.

Un autre cas d'association de ligneux est représentée par les vergers villageois, ou jardins forestiers, qui ont été décrits en tant qu'exemples réussis d'agroforesterie (Michon, 1983). Si leur structure au dessus du sol a été bien étudiée, aucune donnée ne concerne la structure racinaire et le sol. Toutefois les problèmes de concurrence pour la nutrition minérale et azotée en particulier, sont atténués par leur nature villageoise, et la proximité des habitations permettant à ces vergers de bénéficier des apports des déchets domestiques. Une autre part leur avantage est plus une production continue qu'une productivité élevée. On peut rapprocher ces vergers des jachères forestières aménagées (Denevan et al., 1986), où les arbres fruitiers sont installés ou plantés pendant la période de jachère. La faible productivité de tels systèmes, n'entraînant que de faibles exportations, n'empêche pas la jachère de jouer son rôle de reconstitution de la fertilité du sol.

Conclusion

Les arbres modifient des caractéristiques du sol dans un sens souvent bénéfique à plus ou moins long terme, ce qui a permis de les utiliser pour redonner à un sol dégradé ou épuisé un certain degré de fertilité. Pendant l'arbre lui-même a des besoins nutritifs d'autant plus élevés que sa productivité est plus grande. En amplifiant beaucoup on peut dire que son action "améliorante" ou "fertilisante" sera inversement proportionnelle à l'utilisation de sa production. Aussi lors d'aménagements utilisant des arbres il y aura un effort à faire quant au niveau d'équilibre entre ces deux éléments du fonctionnement du système. Il en sera de même dans les associations agroforestières, et d'autant plus qu'elles seront plus intégrées.

References bibliographiques

- J.D. et Melillo, J.M., (1980). Litter decomposition: measuring relative contribution of organic matter and nitrogen to forest soil. *Can. J. Bot.* 58, 461-421.
- Wardle, F., Berg, B., et Bosatta, E., (1987). The effect of lignin and nitrogen on the decomposition of litter in nutrient poor ecosystems: a theoretical approach. *Can. J. Bot.*, 65, 1116-1120.

- Bernhard-Reversat, F., (1976). Essai de comparaison des cycles d'éléments minéraux dans les plantations de framiré (*Terminalia ivorensis*) et en forêt naturelle de Côte d'Ivoire. *Bois et Forêts Tropic.* No. 167. 25-38.
- Bernhard-Reversat, F., (1982). Biogeochemical cycle of nitrogen in a semi-arid savanna. *Oikos*, 38. 321-332.
- Bernhard-Reversat, F., (1987). Les cycles des éléments minéraux dans un peuplement à *Acacia seyal* et leur modification en plantation d'*Eucalyptus* au Sénégal. *Acta Oecol., Oecol. Gener.*, 8. 3-16.
- Bruijnzel, L.A., (1983). *Hydrological and biogeochemical aspects of man-made forests in South-central Java, Indonesia.* Acad. Proefschrift, Offsetdrukkerij Kanters B V., Alblasserdam. 250 pp.
- Cornforth, I.S., (1970). Reafforestation and nutrient reserves in the humid tropics. *J. Appl. Ecol.* 7. 609-615.
- Dembi, F.J., (1988). Effets de l'élimination de la végétation concurrente sur l'humidité du sol et sur la croissance initiale d'une plantation monoclonale d'*Eucalyptus 12ABLX saligna*, Clone 2.109. Mem. IDR, Brazzaville, multigr. 49 pp.
- Denevan, W.N., Treacy, J.M., Alcorn, J.B., Padoch, C., Denslow, J., et Paitan, S.F., (1984). Indigenous agroforestry in the Peruvian Amazon. Bora Indian management of swidden fallows. *Intersci.* 9. 346-357.
- Giffard, P. (1964). Les possibilités de reboisement en *Acacia* au Sénégal. *Bois et Forêts Tropic.* No. 95. 21-33.
- Glover, N. et Beer, J. (1986). Nutrient cycling in two traditional Central American agroforestry systems. *Agroforest. Syst.* 4. 77-87.
- Heuveldop, J., Alpizar, I., Fassbender, H.W., Enriquez, G. et Folster, H., (1985). *Systemas agroforestales de café (Coffea arabica) con laurel (Cordia alliodora) y café con poro (Erythrina poeppigiana).* Turrialba, Costa Rica. II. Produccion agricola, maderable y residuos vegetales. Turrialba, 35. 347-355.
- Jordan, C.E., (1982). Amazon rain forest. *Amer. Scientist*, 70. 394-401.
- Jung, G., (1969). Cycles biogéochimiques dans un écosystème de région tropicale sèche *Acacia albida* (Del.) sol ferrugineux tropical peu lessivé (dior). *Oecol. Plant.* 4. 195-210.
- Jung, G. (1970). Variations saisonnières des caractéristiques microbiologiques d'un sol ferrugineux tropical peu lessivé (dior) soumis ou non à l'influence d'*Acacia albida* (Del.). *Oecol. Plant.* 5. 113-136.
- Kadeba, O. et Aduayi, E.A., (1985). Impact on soils of plantations of *Pinus caribea* stands in natural tropical savannas. *Forest Ecol. Managem.* 13. 27-39.
- Kellman, M., (1979). Soil enrichment by neotropical savanna trees. *J. Ecol.*, 67. 565-577.
- Meentemeyer, V., (1978). Macroclimate and lignin control of litter decomposition rates. *Ecology*. 59, 465-472.
- Michon, G. (1983). Village forest gardens in east Java. In P.A. Huxley, ed. *Plant Research and Agroforestry.* ICRAF, Nairobi. pp. 13-24.
- Nair, P.K.R. (1983). Agroforestry with coconuts and other tropical plantation crops. In P.A. Huxley, ed. *Plant Research and Agroforestry.* ICRAF, Nairobi. pp. 79-102.
- Poschen, P. (1986). An evaluation of the *Acacia albida*-based agroforestry practices in the Hararghe highlands of eastern Ethiopia. *Agroforestry Syst.* 4. 129-143.
- Schwartz, D., Ledoux, H., Mariotti, A., et Guillet, B. (1989). *Composition isotopique 13C/12C d'humus de savane reforestée en pins et en Eucalyptus près de Pointe-Noire (Congo). Résultats préliminaires.* Rapport ORSTOM, Pointe Noire, multigr. (en cours).
- Singh, K.S. et Lal, P. (1969). Effect of *Prosopis spicigera* (or *cineraria*) and *Acacia arabica* trees on soil fertility and profile characteristics. *Ann. Arid Zone* 8. 33-36.
- Stark, N. (1978). Man, tropical forest and the biological life of a soil. *Biotropica*, 10. 1-10.

DISCUSSION

OKORIO: You talked of *Terminalia superba*/cocoa mixture, and you said that the tree growth was seriously affected by the cocoa. The question is, what was the spacing between the two components and were they established at the same time?

BERNARD-REVERSAT: Les arbres étaient espacés de 10 x 10 m, et les cocoayam sont plantés je crois à raison de 2 rangées entre chaque rangée d'arbres.

DES F

Résumé: Une vue de l'étude le cas des qu minérale lo:

Abstract: 7 preparation nutriments in nutriments re

Comme c utilisant des es par des *Eucaly* d'une techniqu échelle: de va éléments miné impressionnant La production consiste à retirer traitement sylv fertilité des so l'exportation d et pour la prép L'exporta quittant l'écos cycle des bioél prévoir l'évolu constitue donc (*Eucalyptus ai* et par l'étude

Etude de

Méthodo l'âge d'exploit ont été récolt après un séjou préalable sect Potassium (K minéralomass

Résultats

Les quar d'exploitation

TREES FOR DEVELOPMENT IN SUB-SAHARAN AFRICA

Proceedings
of a regional seminar held by the

International Foundation for Science (IFS)

ICRAF House, Nairobi, Kenya
February 20 - 25, 1989

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire.

N° : 43677

Cnte : B ex1