



R. NJOUKAM
Institut de Recherche
Agronomique du Cameroun

L. BOCK, J. HEBERT, L. MATHIEU
Faculté universitaire
de Gembloux, Belgique

R. OLIVER, R. PELTIER
CIRAD
Montpellier, France

LIGNICULTURE ET MAINTIEN DE LA FERTILITÉ DES SOLS DANS L'OUEST-CAMEROUN



Photo R. PELTIER

Dans l'Ouest-Cameroun, les boisements de pins et d'eucalyptus sont très productifs, mais l'exportation de grandes quantités de bois peut appauvrir les parcelles en éléments minéraux, particulièrement lorsqu'il s'agit de jeune bois non écorcé, comme sur la photo.

In West Cameroon, afforestations of pines and eucalyptus are very productive, but the export of large quantities of wood is liable to impoverish the mineral content of plots, particularly when young unbarked wood is involved, as in this photo.



Cet article présente les premiers résultats de recherche sur les cycles biogéochimiques de deux espèces exotiques à croissance rapide : *Eucalyptus saligna* et *Pinus kesiya* dans l'Ouest-Cameroun.

PROBLÉMATIQUE

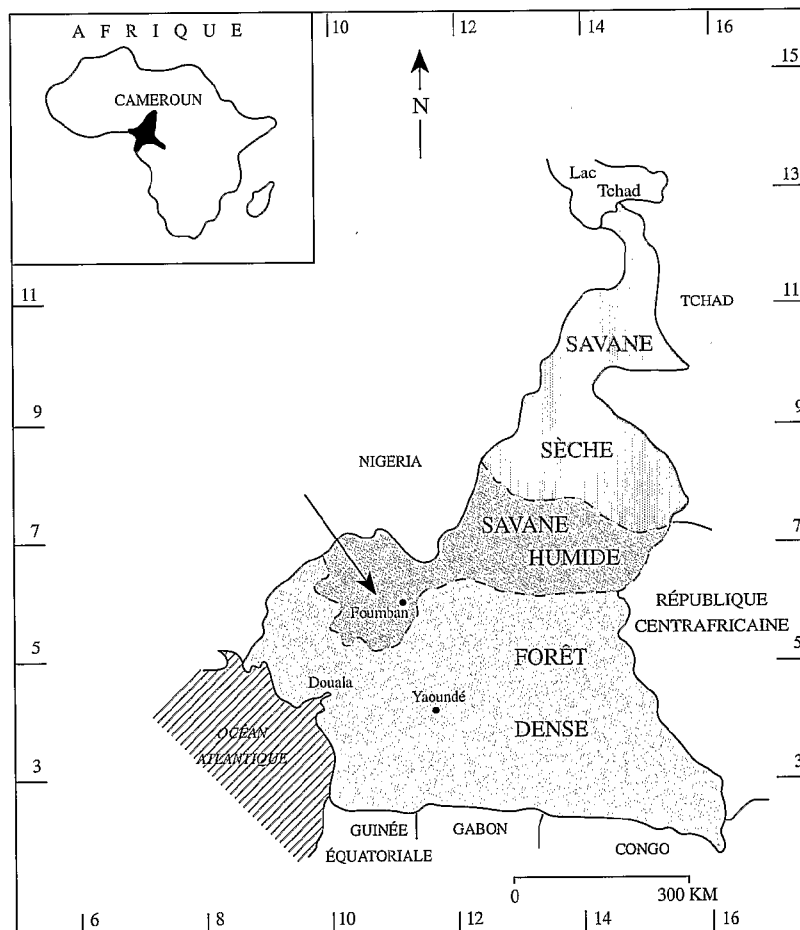
UNE SYLVICULTURE DYNAMIQUE STIMULÉE PAR L'INTRODUCTION D'ESPÈCES PRODUCTIVES

Les montagnes situées au centre-ouest du Cameroun (cf. fig. 1), l'une des régions les plus peuplées et les plus dynamiques du pays, jouissent d'un climat relativement humide et frais ; elles sont couvertes de sols assez fertiles souvent d'origine volcanique.

Dans le secteur agricole, le développement de cultures commerciales a débuté à l'époque coloniale avec le

café arabica, mais les paysans ont rapidement cherché à diversifier leurs revenus par des productions fruitières et maraîchères, un élevage de plus en plus intensif... et par les productions ligneuses.

En effet, les besoins en bois étaient autrefois couverts par des récoltes dans les îlots de forêts denses, dans les forêts galeries de bas-fonds ou dans les savanes arborées des collines. Mais avec l'accroissement de la pression démographique, les réserves en bois sont devenues insuffisantes en qualité et en quantité. Pour satisfaire la demande, dans cer-



Une version de cet article a été présentée au séminaire « Fertilité du milieu et stratégies paysannes sous les tropiques humides », qui s'est tenu à Montpellier du 13 au 17 novembre 1995 (cf. compte rendu, p. 70).

Figure 1. Situation de Foumban dans les grandes zones écologiques du Cameroun.
The location of Foumban in the major ecological zones of Cameroon.



taines conditions écologiques et socio-économiques que nous ne détaillerons pas ici, se sont développées des agroforêts où les arbres sont intimement associés aux cultures (GAUTIER, 1994). Dans d'autres situations, les paysans ont préféré créer de petits boisements monospécifiques d'espèces exotiques à croissance rapide ; ces espèces avaient été introduites par les Services forestiers coloniaux anglais et français entre les deux guerres mondiales, en particulier sous forme d'*arboreta*.

Les agriculteurs de la région ont rapidement remarqué les espèces qui leur semblaient les mieux adaptées à leurs besoins, puis en ont récolté les graines et diffusé les plants. En matière de production ligneuse, l'espèce qui domina très largement fut *Eucalyptus saligna* (ainsi que des espèces proches ou des hybrides). Aujourd'hui, ce sont pratiquement tous les paysans Bamiléké et Bamoun qui possèdent des eucalyptus (en général quelques pieds mais parfois plusieurs hectares). La production de bois de cette espèce couvre ainsi l'essentiel des besoins en bois de feu et en perches de la région, mais aussi assure la production de poteaux électriques ou téléphoniques du Cameroun tout entier ainsi que de pays voisins.

UNE EXPLOITATION MINIÈRE DE LA FORÊT

Le sylviculteur de l'Ouest-Cameroun se préoccupe davantage de mettre en place ses plants ou ses semis directs d'eucalyptus, en les associant souvent à des cultures pendant leurs premières années, que de gérer ultérieurement la fertilité de ses boisements. On trouve ainsi de très nombreuses plantations âgées de plusieurs dizaines d'années qui ont déjà été coupées quatre ou cinq fois (l'espèce est gérée en taillis car elle rejette facilement) sans avoir reçu aucun amendement.

Par ailleurs, si le propriétaire se contente en général de retirer de la parcelle le gros bois commerciali-

sable comme poteau, perche ou bois de feu, les femmes et enfants viennent presque toujours récolter jusqu'aux moindres brindilles, utilisées pour fournir l'énergie domestique. On peut donc se demander si l'introduction des espèces à croissance rapide ne peut pas entraîner une surexploitation de ces sols jusqu'à un stade d'épuisement difficilement réversible.

L'Etat, de son côté, cherche depuis quelques années à produire du bois d'œuvre devenu rare dans cette région, en dehors de celui des agroforêts (Canarium...) en général réservé à l'autoconsommation. Ne disposant le plus souvent que de collines à sol superficiel, il a introduit des pins tropicaux sud-américains

ou asiatiques. Ces espèces ont une forte production, y compris sur ces sols pauvres, et posent donc les mêmes problèmes que les eucalyptus.

Pour y répondre, le programme « Foresterie en savane » de l'Institut de Recherche Agronomique du Cameroun (IRA) a entrepris un travail sur les cycles biogéochimiques de peuplements forestiers dans la réserve du Melap, dont les premiers résultats sont exposés ici.

ÉTAT ACTUEL DES CONNAISSANCES

Les études proprement dites sur l'aspect fonctionnel des écosystèmes forestiers ont démarré au milieu du

UN PEU DE LITTÉRATURE

Dans les pays tropicaux, ce sont les Indiens qui développent une littérature florissante sur le fonctionnement des différents écosystèmes. KUMAR et RAMAKRISHNAN (1985) étudient la dynamique de la litière dans un peuplement de pins au nord-est de l'Inde. La même étude est conduite par NEGI *et al.* (1988 a), GEORGE et VARGHESE (1991) dans des peuplements d'eucalyptus et PANDIT *et al.* (1993) en forêt sèche décidue. En ce qui concerne la biomasse et la distribution des éléments minéraux, nous pouvons citer NEGI *et al.* (1988 b), PANDE *et al.* (1987), GEORGE et VARGHESE (1990 a et b, 1991), MOHINDER et RATURI (1991), TANDON *et al.* (1993), PANDE et SHARMA, 1993). Certains auteurs ont axé leurs recherches sur l'évolution des sols sous différents peuplements. C'est le cas de CHOUBEY *et al.* (1987), BASU et MANDI (1987). Nous pouvons également évoquer dans les autres pays tropicaux, les travaux de TURNER et LAMBERT (1983), POLGLASE et ATTWILL (1992) en Australie, POGGIANI (1985), MORAIS *et al.* (1990) au Brésil. L'ouvrage de JORDAN (1985) traitant des différents écosystèmes forestiers tropicaux mérite aussi d'être signalé.

En Afrique, la littérature n'est pas aussi prolifique. VERSFELD et DONALD (1991), en Afrique du Sud, démontrent que la croissance de *Pinus radiata* sur un site pauvre est due au recyclage rapide d'éléments minéraux à travers la litière ; HERBERT (1991) effectue une corrélation entre la quantité d'éléments biogènes dans les feuilles et les facteurs stationnels dans le Natal. Au sud du Sahara, d'importants travaux ont été menés au Sénégal, au Congo Brazzaville, en Côte-d'Ivoire et au Nigeria. BERNHARD-REVERSAT (1988) étudie le cycle des éléments minéraux dans un peuplement naturel d'acacias et dans une plantation d'eucalyptus au Sénégal. Des travaux similaires ont également été effectués au Congo par LOUMETO et TOUFFET (1985), LOUMETO (1986), LOUBELO (1990) et BERNHARD-REVERSAT (1991, 1993 a et b). Les chercheurs nigériens se sont aussi intéressés à l'aspect fonctionnel des écosystèmes forestiers ; c'est le cas de KADEBA et ADUAYI (1985), qui ont essentiellement travaillé sur *Pinus caribaea*. OLA-ADAM (1993) étudie la production de la biomasse dans les plantations de *Tectona grandis* et *Terminalia superba*. ALUKO (1993) établit une relation entre l'évolution des sols et la quantité d'éléments biogènes immobilisés dans les feuilles.

Au Cameroun, la littérature en la matière est assez pauvre. Parmi les quelques travaux existants, nous citons ceux de RICHARDS (1963) dans la réserve forestière du Sud-Bakoundi (en forêt dense semi-décidue). SONGWE *et al.* (1988) ont étudié la production et la décomposition de la litière dans cette même réserve. NGUBAOT (1989) a abordé de façon assez sommaire ce même sujet dans la réserve de Melap. Actuellement J.-M. HARMAND et C. F. NJIMI-FORKONG mènent des travaux sur les cycles biogéochimiques dans des jachères arborées, plantées ou spontanées, de zone soudanienne mais les résultats ne sont pas encore publiés.



siècle dernier avec la mise en évidence par LIEBIG de la nutrition des végétaux.

Les années 60 ont vu également se développer la notion de biomasse dont l'étude est considérée par les écologistes comme un préalable à l'élaboration d'un bilan écosystémique des formations végétales diverses. Cette prise en considération soudaine de l'estimation de la production ligneuse en quantité de matière sèche a résulté selon PARDE (1980) d'une triple conjonction :

- l'essor de l'industrie de trituration et des panneaux ;
- l'intérêt porté par les scientifiques à la production biologique des écosystèmes forestiers, avec la création du Programme Biologique International (P.B.I.) ;
- les projets d'utilisation du bois (tant au plan énergétique qu'au plan chimique) comme ressource naturelle renouvelable en réponse à la crise pétrolière des années 1970.

PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

La réserve forestière de Melap est située dans le Département du Noun (Province de l'Ouest) entre 5°44' et 5°48' de latitude nord, d'une part, et 10°52' et 10°54' de longitude est, d'autre part. Elle se trouve à la limite nord de la ville de Fouban, chef-lieu du département, et couvre actuellement une superficie de 1 700 ha.

Le plateau Bamoun, en général, a été constitué par le grand recouvrement basaltique du début du Tertiaire (BACHELIER, 1958). Il correspond au plateau Bamiléké et au plateau de l'Adamaoua, dont il n'est séparé respectivement que par la vallée du Noun et la plaine Tikar. Les altitudes sont comprises entre 900 et 1 000 m vers le sud et entre 1 100 et 1 200 m vers le nord. Les limites

ouest et est sont constituées par des escarpements, tandis que vers le sud la dénivellation moins brutale est marquée par une surface de transition.

Ce plateau est surmonté par trois grands massifs montagneux : le Mbam (2 335 m), le Nkogam (2 263 m) et le Mbapit (1 989 m).

La réserve forestière de Melap se trouve dans la partie nord du plateau. Son modelé présente des lambeaux de surface d'aplanissement tertiaire disséquée par les cours d'eau. Cette dissection a induit la genèse des versants dont les pentes peuvent atteindre 80 %.

La pluviométrie moyenne annuelle est de 1 900 mm, la saison des pluies allant de la mi-mars à la mi-novembre. C'est un climat tropical à une saison sèche, dont trois mois écologiquement secs* : décembre, janvier et février. LETOUZEY (1968) classe la région dans le sous-climat dit « camerounien de montagne ».

La végétation actuelle est du type « savane humide d'altitude » qui appartient au secteur guinéo-soudanien des savanes périforestières. Du point de vue phytogéographique, cette savane est très hétérogène. Elle subit l'influence des facteurs biologiques, agricoles ou pastoraux et présente, par conséquent, une mosaïque de cultures, de tapis herbeux et d'îlots de forêts (forêts « sacrées », forêts galeries) de très faibles superficies.

SEGALEN (1960) a rattaché les sols de la réserve du Melap au groupe des sols ferrallitiques remaniés comportant deux séries : la série de Fouban dérivant du basalte et la série de Melap dérivant de l'embranchement. Cette deuxième série occupe la majeure partie du périmètre et contient souvent des matériaux concrétionnés qui peuvent être très abondants en surface ou en profondeur.

Le Département de Fouban a une population (urbaine et rurale) estimée en 1992 à 128 060 habitants

sur une superficie de 2 183 km², soit une densité de 59 habitants au km², si bien que la pression sur les ressources naturelles y est très forte.

Sur les sols les plus profonds, les Bamoun pratiquent des cultures très diversifiées et parfois fort intensives (café arabica, bananier, maïs, haricot, taro...) ; les fruitiers locaux ou exotiques ainsi que de nombreux arbres à usages multiples sont associés le plus souvent aux cultures. Les bas-fonds sont occupés par le raphia dont on tire une boisson fermentée (« vin de raphia ») et par le maraîchage en extension. Les collines sont valorisées par un élevage surtout bovin conduit par les Peuls mais elles sont de plus en plus reboisées par les agriculteurs qui en prennent ainsi le contrôle foncier.

MESURES ET RÉSULTATS

DONNÉES DENDROMÉTRIQUES SUR LES PEUPELEMENTS ARBORÉS

Le matériel expérimental est composé de deux parcelles d'*Eucalyptus saligna* Smith (14 et 40 ans) et de deux parcelles de *Pinus kesiya* Royle ex Gordon (14 et 36 ans) totalisant une surface de 31 ha.

Les mesures effectuées sur chaque arbre sont les suivantes : la circonférence à 1,30 m, la hauteur totale et la hauteur de Pressler**. Au niveau de la parcelle, on détermine la surface et le nombre d'arbres vivants. Ces variables de base ont permis d'estimer des variables dérivées telles que nombre de tiges à l'hectare.

* Un mois est écologiquement sec lorsque le rapport pluviométrie/température dudit mois est inférieur à 2, soit : $[P \text{ (mm)} / T \text{ (}^\circ\text{C)} < 2]$.

** La hauteur de Pressler est la distance comprise entre le niveau d'abattage et le niveau correspondant à la moitié de la circonférence à 1,30 m. Elle intervient dans l'estimation du volume individuel.

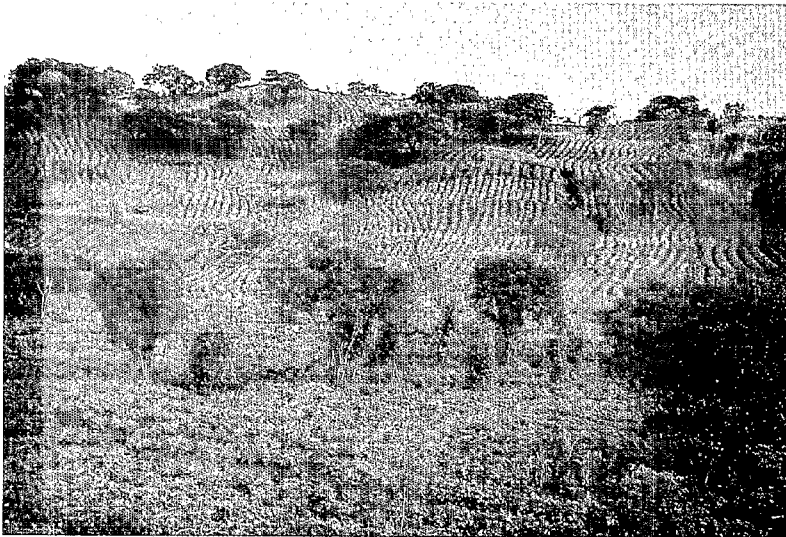


Photo B. LEBUC

Champs de haricots dans la région de Foumban. Dans un tel système de culture, les prélèvements d'éléments minéraux par les récoltes, l'érosion (remarquer les billons dans le sens de la pente) et la lixiviation sont en partie compensés par des apports d'engrais et de fumier.

Fields of haricot beans in the Foumban region. In this type of crop system, the removal of mineral elements as a result of harvesting, erosion (note the furrows running in the direction of the slope), and leaching are partly made up for by the use of fertilizer and manure.

réalisent plutôt une opération de nettoyage. Par contre, dans le peuplement de pins âgé de 36 ans, on assiste à un phénomène de surstockage ($G = 84 \text{ m}^2/\text{ha}$) lié à la non éclaircie, presque généralisée dans tout le massif.

RÉPARTITION DE LA BIOMASSE ** DANS LES COMPARTIMENTS DE L'ARBRE

Dans chaque parcelle, trois à cinq arbres représentatifs des différentes catégories de grosseur ont été abattus et échantillonnés par organe. On trouvera les résultats dans le tableau II, p. 38.

Dans toutes les parcelles, le plus fort pourcentage de la biomasse totale est attribué au bois de fût. Il varie de 74 à 75 % dans les parcelles d'eucalyptus et de 74 à 84 % dans les parcelles de pins. Les pourcentages les plus faibles s'observent au ni-

re (N), diamètre moyen (d moy.), hauteur moyenne (h moy.), diamètre dominant (d dom.), hauteur dominante (h dom.), surface terrière * à l'hectare (G), volume à l'hectare (V) et accroissement annuel moyen (AAM). Les résultats de ces mesures figurent dans le tableau I.

La densité observée dans les plantations d'eucalyptus est moins élevée que celle des peuplements de pins. Cette situation est due en partie aux intrusions fréquentes de la population en quête du bois de feu. Loin d'être une exploitation systématique, les paysans

* La surface terrière correspond au total par hectare des surfaces des sections de tronc ; elle se calcule à partir des circonférences mesurées à 1,30 m du sol.

** Remarque importante : dans cet article, chaque fois qu'il est question de biomasse, c'est uniquement la partie aérienne qui est concernée.

TABLEAU I

DONNÉES DENDROMÉTRIQUES DES PEUPELEMENTS ÉTUDIÉS

Essence	Age (ans)	N (n/ha)	d moy. (cm)	h moy. (m)	d dom. (cm)	h dom. (m)	G (m ² /ha)	V (m ³ /ha)	AAM. (m ³ /ha/an)
<i>Eucalyptus saligna</i>	14	780	18	21	28	27	23	184	13
	40	342	37	33	53	40	41	575	14
<i>Pinus kesiya</i>	14	1 211	21	18	30	20	45	324	23
	36	787	36	33	50	37	84	1 067	30

TABLEAU II
RÉPARTITION DE LA BIOMASSE À L'HECTARE DANS LES DIFFÉRENTS COMPARTIMENTS DE L'ARBRE

Espèce	<i>Eucalyptus saligna</i>				<i>Pinus kesiya</i>			
	14 ans		40 ans		14 ans		36 ans	
Age	T/ha	%	T/ha	%	T/ha	%	T/ha	%
Compartiment	T/ha	%	T/ha	%	T/ha	%	T/ha	%
Feuilles	2,99	2	7,74	1	6,81	3	6,06	1
Branches + rameaux vivants	19,00	13	91,16	17	18,57	8	35,77	6
Branches + rameaux morts	2,63	2	6,43	1	9,58	4	10,93	2
Bois du duramen	54,72	37	272,59	52	164,50	74	467,77	84
Bois de l'aubier	55,56	37	118,58	23				
Ecorce	13,14	9	23,78	5	21,81	10	39,24	7
Fruits ou fleurs	0,24	0	1,24	0	0,26	0	0,19	0
Total	148,23	100	521,52	100	221,52	100	559,96	100

veau des feuilles (1 à 3 %) et des fruits dont la proportion est négligeable. La biomasse du bois de fût dans la parcelle des jeunes eucalyptus se répartit équitablement entre le duramen et l'aubier tandis que, dans le peuplement âgé de 40 ans, le duramen devient plus important avec 52 % de la biomasse totale contre 23 % seulement pour l'aubier.

Si le pourcentage du bois augmente avec l'âge, celui des autres organes évolue en sens inverse, à l'exception des branches et rameaux vivants dans les parcelles d'eucalyptus dont les vieux arbres présentent de très grosses branches. Cette répartition de la biomasse dans les différents compartiments est dans l'ensemble similaire à celles observées par TANDON *et al.* (1988) ainsi que par RAWAT et TANDON (1993), respectivement dans les peuplements d'*Eucalyptus grandis* et de *Pinus roxburghii* en Inde.

Les biomasses des différents compartiments s'ordonnent de la façon suivante :

- Bois > branches > écorces > feuilles, dans les parcelles d'eucalyptus et,

- Bois > écorces ≥ branches > feuilles, dans les parcelles de pins.

Quant à la masse de bois mort, son pourcentage est quelque peu plus élevé dans les parcelles de pins ; ce qui témoigne de l'élagage naturel qui s'opère en général moins bien chez les résineux. La biomasse des organes reproducteurs est pratiquement négligeable.

TENEUR EN ÉLÉMENTS BIOGÈNES

DANS LES ORGANES VÉGÉTAUX

A partir des taux en éléments minéraux relatifs à chaque échantillon, nous avons effectué des moyennes par organe ; les résultats sont indiqués dans le tableau III.

A âge égal, la concentration des éléments minéraux est généralement plus élevée dans les organes d'eucalyptus. Il existe cependant, au niveau des jeunes peuplements, quelques exceptions concernant la teneur de N dans les branches et, au niveau des vieux peuplements, la teneur du Ca dans les branches et

dans le bois, ainsi que du Mg dans le bois.

En dehors des organes reproducteurs, les feuilles (pour les deux espèces) ont des teneurs en N, P, K et Mg les plus élevées. Ceci confirme encore les observations faites par TANDON *et al.* (1988) dans une plantation d'*Eucalyptus grandis* en Inde. Viennent ensuite dans les parcelles d'eucalyptus, et suivant l'ordre décroissant, l'écorce, les branches et enfin le bois, avec une petite nuance dans les jeunes peuplements pour le Mg qui place les branches avant l'écorce.

Dans les parcelles de pins, hormis les organes verts qui sont en tête, l'ordre varie en fonction de l'âge et des éléments :

- Pins de 14 ans : branches > écorces > bois, pour N et K d'une part et, écorces > branches > bois, pour Ca et Mg ;
- Pins de 36 ans : écorces > branches > bois, pour N, Ca, et Mg et, branches > écorces > bois, pour K.

Comme on peut le constater, le bois à tous les âges et pour les deux es-



TABLEAU III
TAUX DES ÉLÉMENTS MINÉRAUX DANS LES TISSUS VÉGÉTAUX

Espèces	Age	Compartiment	Teneur (% de M.S.)				
			N	P	K	Ca	Mg
<i>Eucalyptus saligna</i>	14 ans	Feuilles	1,551	0,135	0,719	0,855	0,344
		Branches + rameaux vivants	0,290	0,053	0,291	0,547	0,104
		Branches + rameaux morts	0,244	0,016	0,079	0,230	0,037
		Bois du duramen	0,098	0,001	0,009	0,042	0,006
		Bois de l'aubier	0,178	0,027	0,102	0,039	0,014
		Ecorce (fût)	0,321	0,105	0,489	1,155	0,080
		Fruits ou fleurs	0,644	0,067	0,778	0,540	0,269
<i>Eucalyptus saligna</i>	40 ans	Feuilles	1,514	0,106	0,764	0,579	0,264
		Branches + rameaux vivants	0,368	0,061	0,235	0,169	0,080
		Branches + rameaux morts	0,255	0,038	0,144	0,129	0,047
		Bois du duramen	0,096	0,001	0,008	0,007	0,002
		Bois de l'aubier	0,185	0,016	0,087	0,025	0,008
		Ecorce (fût)	0,381	0,060	0,622	1,508	0,103
		Fruits ou fleurs	0,644	0,067	0,778	0,540	0,269
<i>Pinus kesiya</i>	14 ans	Feuilles	1,554	0,092	0,517	0,198	0,088
		Branches + rameaux vivants	0,360	0,026	0,161	0,114	0,042
		Branches + rameaux morts	0,249	0,006	0,026	0,119	0,036
		Bois du duramen	0,159	0,005	0,045	0,042	0,018
		Ecorce (fût)	0,338	0,025	0,135	0,171	0,061
		Fruits ou fleurs	1,134	0,127	0,706	0,086	0,109
		<i>Pinus kesiya</i>	36 ans	Feuilles	1,428	0,083	0,483
Branches + rameaux vivants	0,253			0,022	0,180	0,296	0,065
Branches + rameaux morts	0,159			0,005	0,059	0,182	0,032
Bois du duramen	0,147			0,003	0,040	0,064	0,021
Ecorce (fût)	0,299			0,019	0,168	0,445	0,070
Fruits ou fleurs	0,491			0,050	0,309	0,044	0,058

pèces possède les teneurs en éléments biogènes les plus faibles ; pour le bois d'eucalyptus, différencié en duramen et aubier, les éléments biogènes sont beaucoup plus concentrés dans l'aubier.

On peut également noter que l'eucalyptus en vieillissant a tendance à maintenir (et même à augmenter) le niveau de prélèvement de N et K, alors que les teneurs en Ca et Mg diminuent. Par contre, dans les peuplements de pins, la tendance s'inverse à quelques exceptions près au

niveau du K pour les branches et l'écorce.

Quant à la masse de bois mort, sa concentration en éléments biogènes est plus faible par rapport à celle des branches vivantes.

MINÉRALOMASSE DANS LES DIFFÉRENTS COMPARTIMENTS ET DANS LES PARCELLES

La minéralomasse est obtenue en multipliant le taux d'un élément dans

un compartiment par la biomasse correspondante. La somme des minéralomasses des compartiments donne la minéralomasse totale d'un arbre ramenée ensuite à l'hectare pour chaque parcelle. Les résultats figurent dans le tableau IV, p. 40.

En considérant la minéralomasse totale, on note pour les deux espèces qu'elle augmente avec l'âge des parcelles. Les peuplements d'eucalyptus (14 et 40 ans), avec des biomasses inférieures à celles des pins, immobilisent en général



TABLEAU IV
QUANTITÉ D'ÉLÉMENTS IMMOBILISÉS DANS CHAQUE COMPARTIMENT SUIVANT L'ESPÈCE ET SON ÂGE

Espèce	Age	Compartiment	Minéralomasse											
			Biomasse		N		P		K		Ca		Mg	
			T/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%
<i>Eucalyptus saligna</i>	14 ans	Feuilles	2	2	46	15	4	9	21	10	25	8	10	19
		Branches+rameaux vivants	19	13	55	18	10	23	55	27	103	31	19	37
		Branches+rameaux morts	2	2	6	2	0	1	2	1	6	2	0	2
		Bois du duramen	54	37	53	18	0	1	4	2	22	7	3	6
		Bois de l'aubier	55	37	99	33	15	34	56	28	21	7	7	14
		Ecorce (fût)	13	9	42	14	13	31	64	31	151	46	10	20
		Fruits ou fleurs	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1
	Total	145	100	302	100	42	100	203	100	329	100	49	100	
	40 ans	Feuilles	7	1	117	11	8	8	59	10	44	7	20	15
		Branches+rameaux vivants	91	17	335	32	55	54	214	38	153	25	72	52
Branches+rameaux morts		6	1	16	2	2	2	9	2	8	1	3	2	
Bois du duramen		272	52	262	25	3	3	20	4	18	3	4	3	
Bois de l'aubier		118	23	219	21	18	18	103	18	29	5	9	7	
Ecorce (fût)		23	5	90	9	14	14	147	26	358	58	24	18	
Fruits ou fleurs		1	0	7	1	0	1	9	2	6	1	3	2	
Total	518	100	1 046	100	100	100	561	100	616	100	135	100		
<i>Pinus kesiya</i>	14 ans	Feuilles	6	3	105	20	6	24	35	20	13	9	6	10
		Branches+rameaux vivants	18	6	66	12	4	18	29	17	21	14	7	13
		Branches+rameaux morts	9	4	23	4	0	2	2	1	11	7	3	6
		Bois	164	74	262	49	8	33	73	43	69	45	29	49
		Ecorce (fût)	21	10	73	14	5	21	29	17	37	24	13	22
		Fruits ou fleurs	0	0	2	1	0	1	1	1	0	0	0	0
		Total	218	100	531	100	23	100	169	100	151	100	58	100
36 ans	Feuilles	6	1	86	9	5	14	29	8	19	3	7	5	
	Branches+rameaux vivants	35	6	90	9	7	22	64	18	105	17	23	15	
	Branches+rameaux morts	10	2	17	2	0	1	6	2	19	3	3	2	
	Bois	467	84	688	69	14	42	188	53	297	48	96	61	
	Ecorce (fût)	39	7	117	12	7	21	66	19	174	28	27	17	
	Fruits ou fleurs	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Total	557	100	998	100	33	100	353	100	614	100	156	100	

plus de P *, K et Ca que ces derniers.

C'est l'inverse qui se produit pour N chez les jeunes arbres et pour Mg

* Concernant l'assimilation de P, l'importance des mycorhizes est connu ; il en existe plusieurs espèces au Melap mais ce thème n'a pas fait l'objet de recherches approfondies.

aux deux âges. Au niveau des organes, le stockage des éléments biogènes s'effectue différemment dans les deux espèces.

Dans les parcelles de pins, les pourcentages les plus élevés de tous les éléments biogènes (N, P, K, Ca et Mg) sont stockés dans le bois. Ces pourcentages augmentent avec l'âge des arbres ; ils s'ordonnent ensuite pour les

autres organes de la façon suivante :

• **Pins de 14 ans :**

Feuilles > écorces = branches pour K

Feuilles > écorces > branches, pour les éléments N et P

Ecorces > branches > feuilles pour Ca et Mg.

- Pins de 36 ans :

Ecorces > branches > feuilles, pour K, Ca et Mg

Ecorces > feuilles = branches, pour N

Branches > écorces > feuilles, pour P.

- Eucalyptus de 14 ans :

Dans les parcelles d'eucalyptus, l'immobilisation varie en fonction de l'âge. Au niveau des eucalyptus de 14 ans, elle est plus élevée dans le bois pour N (51 %), P (35 %) et K (30 %). Il en est de même pour Ca (46 %), dans l'écorce, et pour Mg (37 %) dans les branches.

- Eucalyptus de 40 ans :

La plus grande proportion de N (46 %) est accumulée dans le bois, celles de P, K et Mg dans les branches et celle de Ca (58 %) dans l'écorce. Un autre fait remarquable dans cette parcelle est, d'une part, la baisse des pourcentages des éléments dans les feuilles et l'écorce par rapport à ceux des plus jeunes arbres, et, d'autre part, l'augmentation des mêmes éléments dans les branches.

Il faut remarquer que, dans les peuplements d'eucalyptus, l'écorce en représentant 5 à 9 % de la biomasse totale stocke 46 à 58 % de Ca, alors que le bois, avec 74 à 75 % de la biomasse totale, n'en retient que 8 à 14 %.

MINÉRALOMASSE TOTALE RAPPORTÉE AU VOLUME DE BOIS FORT TIGE

Ces rapports nous donnent la quantité d'éléments minéraux par mètre cube de bois fort tige *. Ils permettent donc d'estimer la quantité apparente de chaque élément nécessaire dans l'élaboration d'un mètre cube de bois. Ces différentes quantités sont indiquées dans le tableau V.

* Il s'agit du bois de tronc commercialisable.

Espèce	Age	Volume * (m ³ /ha)	Éléments (kg) pour 1 m ³ de bois fort				
			N	P	K	Ca	Mg
<i>Eucalyptus saligna</i>	14 ans	184	1,65	0,24	1,12	1,81	0,29
	40 ans	575	1,83	0,18	0,98	1,08	0,24
<i>Pinus kesiya</i>	14 ans	324	1,65	0,08	0,53	0,47	0,19
	36 ans	1 067	0,94	0,03	0,33	0,58	0,15

* Volume bois fort tige.

En considérant l'âge des peuplements, on note que la quantité apparente d'éléments biogènes nécessaires à élaborer un mètre cube de bois est plus élevée dans les jeunes plantations, à l'exception de l'azote chez les eucalyptus et du calcium chez les pins.

Pour produire cette quantité, l'eucalyptus sollicite une quantité d'éléments plus importante que celle utilisée par le pin, sauf pour l'azote dont les quantités sont pratiquement les mêmes dans les jeunes plantations.

MINÉRALOMASSES DES ARBRES ET STOCKS MINÉRAUX DISPONIBLES DU SOL

Nous avons confronté les éléments immobilisés par les arbres avec les réserves édaphiques sous formes disponibles ou échangeables, sur une profondeur d'un mètre. Les réserves du sol exprimées en kg/ha ont été calculées en se basant sur la densité apparente mesurée au champ par la méthode des cylindres.

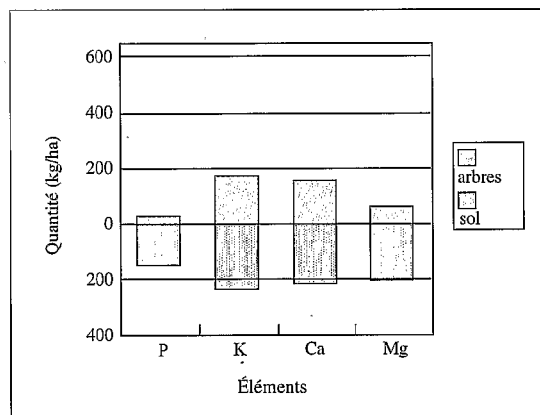
Ce rapprochement entre les deux stocks minéraux, illustré par les figures 2 a, b, c et d (p. 42), nous per-

met de percevoir un aspect du bilan écosystémique.

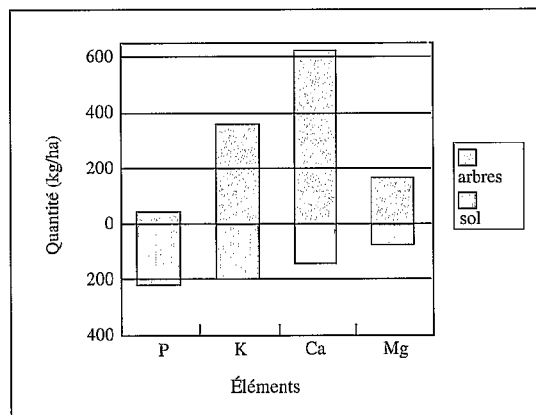
Dans la parcelle d'eucalyptus de 14 ans et les deux parcelles de pins (fig. 2 a, b et c) les immobilisations des arbres en P sont relativement faibles (12 à 28 %) par rapport au stock disponible du sol. Ces prélèvements minéraux sont assez importants (68 %) dans le vieux peuplement d'eucalyptus (fig. 2 d). Le prélèvement de P demeure en général très faible par rapport à celui des éléments K, Ca et Mg.

Ce « déséquilibre » est très marqué au niveau du Ca ; sa minéralomasse dans toutes les parcelles dépasse largement le stock disponible à partir du sol de un à trois fois. Il en est de même pour K (1,5 à 2,4 fois) dans les vieilles parcelles et pour Mg (2,4 fois) dans le vieux peuplement de pins. Ces résultats suivent la même tendance que celle observée par LE GOASTER *et al.* (1991), notamment sur P et Ca dans des peuplements d'épicéas dans les Vosges.

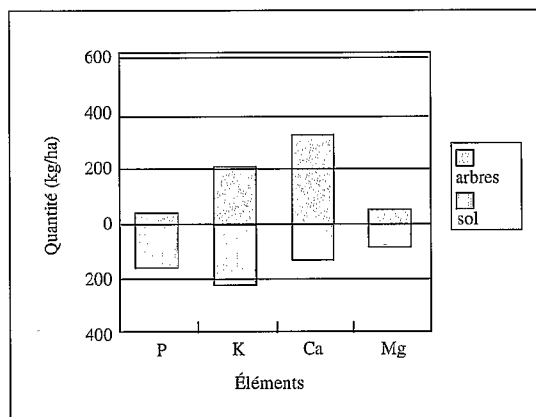
Ces observations montrent que, sur un sol pauvre, l'alimentation minérale de l'arbre est tributaire non seulement du sol mais aussi du recyclage des éléments par les retombées.



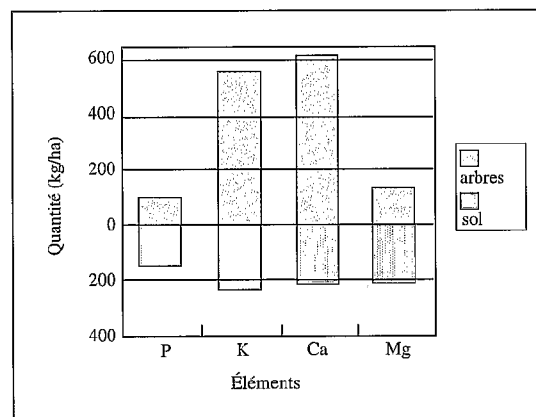
a) Pins de 14 ans



b) Pins de 36 ans



c) Eucalyptus de 14 ans



d) Eucalyptus de 40 ans

Figure 2. Comparaison entre la minéralomasse des arbres et les réserves du sol en éléments échangeables ou disponibles (1 m d'épaisseur).

Comparison between the trees' mineral mass and ground reserves of exchangeable and available elements.

Nous avons observé à cet effet, dans les parcelles, un chevelu racinaire très développé au niveau de la litière au sol (O1 et O2).

MINÉRALOMASSES DES ARBRES ET RÉSERVES MINÉRALES TOTALES DU SOL

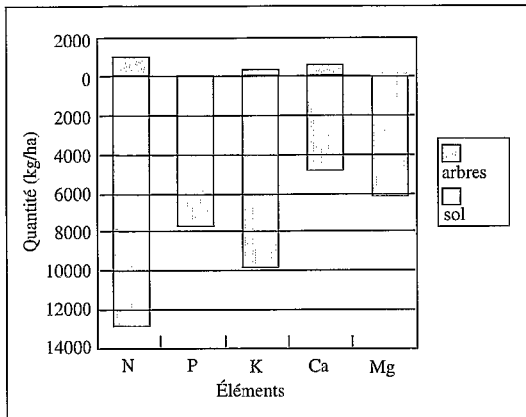
En comparant cette fois les minéralomasses avec les réserves du sol mesurables dans la même profondeur d'un mètre, on obtient la figure 3.

Le pourcentage des éléments minéraux prélevés par les arbres est en général très faible (< 7 % pour N, P, K et Mg) par rapport au stock des éléments du sol. Le Ca fait tout de même exception avec un pourcentage de prélèvement qui varie de 19 à 30 % dans les parcelles de pins de 36 ans et d'eucalyptus de 14 et de 40 ans. Il est à noter que les réserves du sol en Ca sont plus faibles que celles des autres éléments.

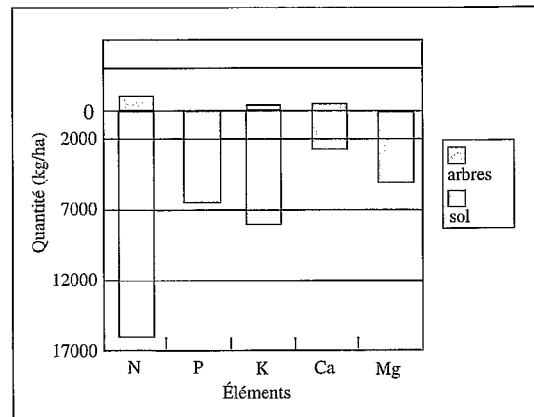
Cette réserve élevée d'éléments dans le sol par rapport à la quantité d'élé-

ments prélevés par les arbres paraît rassurante. Mais il faut cependant être prudent car nous ignorons encore, en l'état actuel de nos investigations, le rythme de passage des éléments en éléments disponibles dont les stocks sont relativement faibles.

Face à ce constat de pauvreté en éléments disponibles du sol, nous analyserons au paragraphe suivant les différents modes d'exploitation afin de proposer celui qui pourra contribuer le mieux à réduire cette déficience.



Pins 36 ans



Eucalyptus 40 ans

Figure 3. Comparaison entre la minéralomasse des arbres et les réserves minérales mesurables du sol (1 m d'épaisseur).
Comparison between the trees' mineral mass and measurable mineral ground reserves (depth of 1 m).

TABLEAU VI

INFLUENCE DU MODE D'EXPLOITATION SUR L'EXPORTATION
D'ÉLÉMENTS BIOGÈNES (KG/HA) DANS LES PARCELLES

Espèce	Age	Éléments biogènes	Exportation d'éléments en kg/ha				
			a*	b*	c*	d*	e*
Eucalyptus	14 ans	N	303	257	194	152	213
Eucalyptus	40 ans		1 050	933	573	482	834
Pins	14 ans		535	429	335	262	352
Pins	36 ans		1 001	914	805	688	796
Eucalyptus	14 ans	P	44	40	29	15	26
Eucalyptus	40 ans		103	94	36	21	79
Pins	14 ans		26	19	14	8	13
Pins	36 ans		35	30	22	14	23
Eucalyptus	14 ans	K	206	185	126	61	119
Eucalyptus	40 ans		564	504	271	123	347
Pins	14 ans		172	137	102	73	105
Pins	36 ans		355	326	254	188	259
Eucalyptus	14 ans	Ca	333	307	196	44	154
Eucalyptus	40 ans		619	574	405	47	209
Pins	14 ans		153	139	107	69	102
Pins	36 ans		617	595	472	297	423
Eucalyptus	14 ans	Mg	53	42	21	10	31
Eucalyptus	40 ans		138	115	39	14	90
Pins	14 ans		60	54	42	29	40
Pins	36 ans		157	150	123	96	123

* a : Arbres entiers (feuilles comprises) ; b : Arbres entiers (sans feuilles) ;
c : Troncs (sans branches) ; d : Troncs écorcés ; e : Troncs écorcés + branches.

INFLUENCES
DE L'EXPLOITATION
SUR L'EXPORTATION
DES ÉLÉMENTS MINÉRAUX

Nous avons constaté, malgré le recyclage des éléments par la chute d'organes végétaux, qu'une quantité importante d'éléments reste immobilisée dans la biomasse épigée. De même, les réserves du sol en éléments disponibles ou échangeables sont très faibles sous les plantations forestières.

Pour assurer (en plus du recyclage par les retombées) une certaine recharge de ces éléments au sol, des précautions doivent être prises au moment des coupes. Le tableau VI présente les différents modes d'exploitation, suivis des pourcentages d'éléments exportés ou susceptibles d'être restitués au sol à travers la biomasse résiduelle abandonnée sur le parterre de coupe.

Les données de ce tableau nous permettent de dégager quatre modes d'exploitation possibles :

• **Exploitation des arbres entiers (sans feuilles)**

C'est le mode d'exploitation habituellement pratiqué. Les branches, notamment celles de l'eucalyptus



Photo R. PELTIER

La litière et les branchages qui restent sur le sol après une éclaircie dans un boisement de pins contiennent de grandes quantités d'éléments minéraux, mais les moindres brindilles seront vite emportées par les femmes et les enfants.

The leaf litter and branches left on the ground after a thinning operation in an afforestation contain large amounts of mineral elements, but very quickly, even the tiniest twigs, will be taken away by women and children.

(tout comme son bois), constituent un combustible très apprécié par la population. Elles sont donc exportées de l'écosystème. En abandonnant ainsi les feuilles sur place, 11 à 15 % de N, 8 à 9 % de P, 10 % de K, 7 à 8 % de Ca et 15 à 19 % de Mg retournent au sol dans les parcelles d'eucalyptus. Dans les parcelles de pins, 9 à 20 % de N, 14 à 24 % de P, 8 à 20 % de K, 3 à 9 % de Ca et 5 à 10 % de Mg sont recyclés par les aiguilles. On note en général que le Ca est très peu recyclé par les feuilles.

• **Exploitation des troncs**

Les branches et les feuilles sont abandonnées sur le parterre de

coupe. On note une augmentation sensible dans les quantités d'éléments retournés au sol.

• **Exploitation des troncs écorcés**

Les résidus sont alors constitués des feuilles, des branches et de l'écorce : les quantités d'éléments restitués au sol sont très importantes ; plus de 90 % de Ca sont restitués au sol dans les eucalyptus de 40 ans. Ce mode d'exploitation serait approprié si les branches n'étaient pas sollicitées comme bois-énergie par les populations rurales.

• **Exploitation des troncs écorcés et des branches**

Les feuilles et l'écorce constituent donc les seuls rémanents qui rapportent au sol des quantités tout de même appréciables d'éléments minéraux. Dans les parcelles d'eucalyptus, 54 à 66 % de Ca seraient ainsi restitués au sol. Ce mode d'exploitation est beaucoup plus réaliste et serait donc envisageable.

COMPARAISON ENTRE FERTILITÉ MINÉRALE DES SOLS SOUS PLANTATION ET HORS PLANTATION

Sans pouvoir en détailler ici les méthodes et les résultats (cf. NJOUKAM, 1995), on peut retenir que les analyses ont révélé des teneurs relativement plus élevées en matière organique et en phosphore disponible dans les sols sous plantations forestières qu'en savanes. Quant aux teneurs en cations échangeables, elles sont faibles dans ces sols, notamment sous plantations de pins.

Les faibles teneurs en éléments minéraux peuvent s'expliquer par la forte proportion de ces ions immobilisés par les arbres. Les essences à croissance rapide mobilisent d'importantes quantités d'éléments minéraux pour fabriquer la biomasse attendue. Une autre cause insidieuse de cette pauvreté des teneurs en

ions nutritifs serait liée aux techniques de préparation du terrain lors de la création des plantations où ont été faites les mesures. Ces techniques consistent à raser complètement la couverture végétale naturelle, qui est disposée en andains, afin de libérer le terrain à planter. Le sol ainsi décapé perd une partie de son horizon humifère et se trouve exposé aux effets du climat.

CONCLUSION

• **Dans les plantations d'état, il est nécessaire de n'exporter que le bois ou d'apporter de l'engrais**

Dans les forêts domaniales, le forestier doit être prudent dès les travaux de préparation de terrain jusqu'à la coupe de ces essences. Dans un milieu édaphique pauvre, il doit adopter une politique appropriée de gestion et d'aménagement, en prenant par exemple des mesures pour imposer l'abandon des résidus sur le parterre de coupe. Au cas où la production du bois de fût peut satisfaire les besoins divers (y compris en bois-énergie), il est vivement souhaitable de faire figurer les branches parmi ces résidus. La restitution des éléments issus des branches, des feuilles et de l'écorce est spectaculaire. A titre d'exemple, 64 % de P, 70 % de K, 87 % de Ca et 79 % de Mg exportés à l'hectare seraient ainsi restitués au sol par ces organes si l'on exploitait à blanc la parcelle d'eucalyptus de 14 ans. Le processus de libération (ou de minéralisation) de ces éléments serait accéléré par la réduction des branches en copeaux à l'aide de fragmenteuse, mais l'achat et l'entretien de ce matériel est trop souvent estimé non rentable.

L'apport des éléments minéraux sous forme d'engrais pourrait également s'envisager en cas de sylviculture intensive sans restitution suffisante.

- **La sylviculture rurale peut exporter moins d'éléments minéraux**

La récolte des résidus de coupe par les villageois étant devenue coutumière dans les plantations privées comme elle l'était dans les forêts naturelles, il semble très difficile de vouloir l'interdire. On ne connaît donc pas de solutions très satisfaisantes pour maintenir la fertilité minérale du sol des parcelles reboisées avec des espèces à forte production, surtout lorsqu'elles sont traitées en taillis à courte révolution.

On peut cependant envisager les actions suivantes :

- informer les sylviculteurs du risque d'appauvrissement du sol en cas d'exportation de l'essentiel de la biomasse ;
- recommander, si possible, d'allonger la durée de rotation entre les coupes de taillis * ;
- proposer aux Services forestiers, la création d'une prime d'écorage des eucalyptus **.

Dans les cas où il serait impossible de limiter les prélèvements d'écorce, de branches et de brindilles par les populations riveraines, il serait peut-être nécessaire de conseiller aux propriétaires forestiers de brûler une partie des résidus sur place, pour restituer au sol une part importante des éléments minéraux sous forme de cendre. Il faudrait, pour ce faire, les rassembler en tas dans les zones vides du peuplement, et y mettre le feu avant l'émission de rejets ; les brûlures des souches seraient ainsi limitées. On pourrait ensuite semer des graines sur cet emplacement et favoriser ainsi une certaine régénération naturelle pour remplacer les souches mortes. Cette méthode éviterait quelque peu l'épuisement des sols mais tous les éléments (N...) ne seraient pas concernés.

- **Il ne faut pas opposer la plantation d'arbres à croissance rapide et l'agroforesterie traditionnelle**

Il convient de signaler que le com-



Photo B. LEDUC

Presque tous les agriculteurs Bamoun possèdent une parcelle d'eucalyptus dont les produits sont vendus (au premier plan de la photo, sciages et bois de feu) ou autoconsommés. Les revenus monétaires sont très rarement utilisés pour acheter de l'engrais et l'appliquer dans les boisements.

Nearly all Bamoun farmers own a plot of eucalyptus, and either sell what it produces (in the foreground of the photo, lumber and firewood), or use its products themselves. Cash incomes are very rarely used for buying fertilizer and using it in afforestations.

portement « avide » de la plupart des essences forestières introduites à l'égard des ions nutritifs est étroitement lié à leur nature de « croissance rapide » et demeure encore bien modeste si l'on se réfère à d'autres plantes cultivées. WISE et PITMAN (1981) cités par POORE et FRIES (1986) ont comparé les quantités d'éléments minéraux susceptibles d'être exportées par une coupe à blanc d'espèces diverses d'eucalyptus (dont *Eucalyptus saligna*) avec celles de cultures de céréales réalisées dans le même laps de temps, mais entrecoupées d'une année de jachère tous les quatre ans. Ils révèlent que les céréales ex-

portent au total deux à quatre fois plus de N et 10 à 20 fois de P que les plantations d'eucalyptus. Par ailleurs, il faut souligner le fait que ces espèces colonisent aussi des épaisseurs de sol supérieures à 1 m (sauf contraintes graves dues par exemple à des cuirasses ou à des dalles de basalte) et que les systèmes racinaires enrichissent le sol en éléments biodégradables.

Pour terminer sous une forme un peu provocatrice, on peut dire qu'à notre avis, les eucalyptus d'Australie de l'Est ou les pins d'Amérique centrale ne sont pas des espèces qui dé-

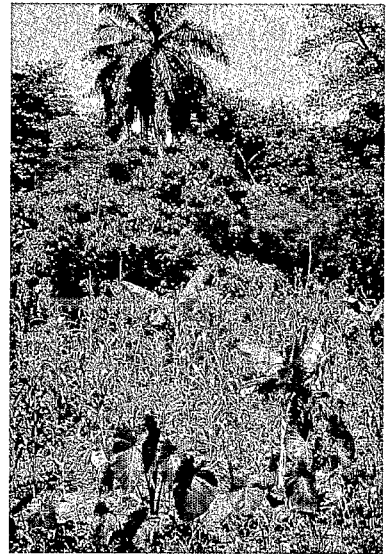


Photo B. LEDUC

Système agroforestier du pays Bamoun.
Agroforestry system in the Bamoun district.

* C'est sans doute la solution la plus réaliste car elle ne coûte rien au sylviculteur. Par exemple, celui-ci exploitera 0,5 ha d'eucalyptus de 20 ans chaque année au lieu de couper 1 ha d'eucalyptus de 10 ans. Il obtiendra, en gros, le même volume, mais avec du bois plus duramenisé, moins d'écorce... et exportera donc moins d'éléments minéraux.

** Les aspects économiques ne sont pas abordés dans cet article mais ils mériteraient des travaux très précis dans l'avenir pour déterminer l'application des différentes propositions.



gradient le sol, sinon leurs aires d'origine où ils constituent l'essentiel des forêts serait devenue des déserts depuis des siècles. En fait, ce ne sont pas les espèces mais les pratiques agronomiques ou sylvicoles qui épuisent les sols et il est possible de poursuivre l'introduction de variétés à fort potentiel de production à condition de faire évoluer parallèlement les pratiques de culture ou de sylviculture.

Pour cela, il faut faire en sorte que la somme des prélèvements d'éléments minéraux sur une parcelle donnée (récolte de bois, de fruits, de fourrages, de cultures...) soit équilibrée par la somme des retours (altération de la roche, décomposition de la litière, des sous-produits, apport de fumier, d'engrais, retombées, colluvionnement, fixation sym-

biotique...). Une production intensive et une exportation importante du bois n'est possible que si les revenus monétaires qu'on en retire permettent l'achat et l'application d'engrais.

Par contre, sur des parcelles où l'on pratique un système fonctionnant en autarcie et où presque tous les éléments minéraux sont restitués sous forme de litière, de fumier, de cendre... il convient surtout de limiter les pertes par érosion ou lixiviation, ce que permettent les systèmes agroforestiers multi-étagés. En fait, dans l'Ouest-Cameroun, cohabitent très souvent, au sein d'une même exploitation, des jardins de case traditionnels avec un mélange intime de canariums, de safoutiers, de bananiers, ainsi que des cultures annuelles fonctionnant depuis des dé-

cennies avec peu d'intrants, et des parcelles de cultures monospécifiques telles que l'eucalyptus, le caféier, l'ananas... qui nécessitent obligatoirement un apport d'intrants, faute de quoi le sol sera rapidement épuisé. □

▷ R. NJOUKAM

IRA
B.P. 285
FOUMBAN
Cameroun

L. BOCK, J. HEBERT et L. MATHIEU
Faculté universitaire
B-5030 GEMBLoux
Belgique

R. OLIVER et R. PELTIER
CIRAD-CA et CIRAD-Forêt
B.P. 5035
34032 MONTPELLIER CEDEX
France

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ALUKO A. P., 1993.

Soil properties and nutrient distribution in *Terminalia superba* stands of different age series grown in two types of south-western Nigeria. *For. Ecol. Manage.*, 58, 153-61.

BACHELIER G., 1958.

Etude des sols du Périmètre de Reboisement du Melap (Plateau de Fomban - Ouest-Cameroun). Rapport n° P 92 ORSTOM. Fonds documentaire n° 12819 A, 12 p.

BASU P. K., MANDI A., 1987.

Effect of eucalyptus monoculture on the soils of south-west Bengal, Midnapore District. *J. Trop. For.*, 3 (3), 228-234.

BERNHARD-REVERSAT F., 1988.

Soil nitrogen mineralization under a eucalyptus plantation and a natural acacia forest in Senegal. *For. Ecol. Manage.*, 23, 233-244.

BERNHARD-REVERSAT F., 1991.

Evolution of the soil litter interface under eucalyptus plantation on sandy soil in Congo. *Acta Oecol.*, 12 (6), 825-828.

BERNHARD-REVERSAT F., 1993, a.

Dynamics of litter and organic matter at the soil litter interface in fastgrowing tree plantations on sandy ferrallitic soils (Congo). *Acta Oecol.*, 14 (2), 179-195.

BERNHARD-REVERSAT F., 1993, b.

Le recyclage minéral par les litières : cas des arbres à croissance rapide sur sol pauvre (région de Kouilou). ORSTOM Congo Actualités, n° 7, 4 p.

CHOUBEY O. P., PRASAD R., MISHRA G. P., 1987.

Studies of the soils under teak plantations and natural forests of Madhya Pradesh. *J. Trop. For.* 3 (III), 235-238.

GAUTIER D., 1994.

Valeur d'usage des arbres en pays Bamiléké. *Bois et Forêts des Tropiques* n° 241, 39-52.

GEORGE M., VARGHESE G., 1991.

Nutrients cycling in *Eucalyptus globulus* plantation III. Nutrients retained, returned uptake

and nutrients cycling. *Indian For.* 117 (2), 110-116.

HERBERT M. A., 1991.

The influence of site factors on the foliar nutrient content of *Eucalyptus grandis* in Natal. *South African For. J.*, 156, 28-34.

JORDAN C. F., 1985.

Nutrient cycling in tropical forest ecosystems. Principles and their application in Management and Conservation. *J. Wiley & sons*, 190 p.

KADEBA O., ADUAYI E. E. A., 1985.

Impact on soils of plantations of *Pinus caribaea* stands in natural tropical savannas. *For. Ecol. Manage.* 16, 27-39.

KUMAR D. A., RAMAKRISHNAN P. S., 1985.

Litter dynamics in khasi pine (*Pinus kesiya* Royle ex Gordon) of north-eastern India. *For. Ecol. Manage.* 10, 135-153.

LE GOASTER S., DAMBRINE E., RANGER J., 1991.

Croissance et nutrition minérale d'un peuplement d'épicéa sur sol pauvre. I. Evolution de la biomasse et dynamique d'incorporation d'éléments minéraux. *Acta Oecol.*, 12 (6), 771-789.

LETOUZEY R., 1968.

Etude phytogéographique du Cameroun. Paris, Lechevalier, 508 p.

LOUBELO E., 1990.

Etude comparative de quelques éléments du fonctionnement de deux peuplements d'eucalyptus au Congo. Thèse : Université de Rennes I, 150 p.

LOUMETO J., 1986.

Contribution à l'étude de la distribution minérale dans les eucalyptus du Congo. Thèse 3^e cycle. Université de Rennes I, 134 p.

LOUMETO J., TOUFFET J., 1985.

L'exportation minérale dans les plantations d'eucalyptus du Congo. I. Distribution des éléments biogènes dans un peuplement d'eucalyptus. *Botanica Rhedonica*, série A, 18, 27-42.

MOHINDER P., RATURI D. P., 1991.

Growth, biomass production and dry matter distribution pattern of eucalyptus hybrid grown in an energy plantation. *Indian For.* 117 (3) 187-192.

MORAIS E. J., BARROS N. F.,

NOVAIS R. F., BRANDI R. M., 1990.

Biomassa e eficiência nutricional lie espécies de eucalypto em duas regioes bioclimáticas de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 14 (3), 353-362.

NEGI J. D. S., SHARMA S. C., BISHT A. P. S., 1988a.

Forest floor and soil nutrient inventories in an old growth eucalyptus plantation. *Indian For.*, 114 (8), 453-461.

NEGI J. D. SHARMA S. C., SHARMA D. C., 1988b.

Comparative assessment of methods for estimating biomass in forest ecosystem. *Indian For.*, 114 (3), 136-144.

NGUIBAOT F., 1989.

Etude de la litière et décomposition de la matière organique dans trois parcelles d'eucalyptus et de pins à l'intérieur du périmètre de Melap. Mémoire de fin d'étude INADER-C.U.D.S. mutigr.

NJOUKAM R., 1995.

Contribution à l'étude des interactions essences forestières à croissance rapide et sols des savanes tropicales humides. Cas de la réserve forestière de Melap (Foumban) au Cameroun. Thèse de doctorat, Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux, Belgique, 215 p. + photos.

OLA-ADAM B. A., 1993.

Effects of spacing on biomass distribution and nutrient content of *Tectona grandis* Linn. f. (teak) and *Terminalia superba* Engl. & Diels (afara) in south-western Nigeria. *For. Ecol. Manage.* 58, 299-319.

PANDE P. K., SHARMA S. C., 1993.

Biochemical cycling and nutrient conservation strategy in some plantations. *Indian For.* 119 (4), 299-305.

PANDIT B. R., SUBRAHMANYAM S. V. S., RAGHAVEN-DRARAO K. V., 1993.

Leaf litter production of the dry deciduous forest ecosystem of eastern Gir (Gujarat). *Indian For.*, 119 (5), 375-380.

PARDE J., 1980.

Les biomasses forestières. INRA-C.N.R.F., Champenoux, 54 p.

POGGIANI F., 1985.

Ciclagem de nutrientes em ecossistemas de plantações florestais de eucalyptus e pinus. Implicações silviculturais. IPEF, Piracicaba 31, 33-40.

POLGLASE P. J., ATTIWILL P. M., 1992.

Nitrogen and phosphorus cycling in relation to stand age of *Eucalyptus regnans* F. Muell. I. Return from plant to soil in litterfall. *Plant and soil* 142 (2), 157-166.

POORE M. E. D., FRIES C., 1986.

Les effets écologiques des eucalyptus. *Etudes F.A.O. Forêts* n° 59, 118 p.

RAWAT J. K., TANDON V. N., 1993.

Biomass production and mineral cycling in young pine plantations in Himachal Pradesh (India). *Indian For.* 119 (12), 977-985.

RICHARDS P. W., 1963.

Ecological notes on West African vegetation II. Lowland forest of the Southern Bakundu Forest Reserve. *J. Ecol.* 51 (1), 123-149.

SEGALEN P., 1960.

Carte pédologique du périmètre de reboisement du Melap (près de Foumban). Rapport n° P 112. ORSTOM. Fonds documentaire n° 12628 B 92-101.

SONGWE N. C., FASEHUN F. E. & OKALI D. U. U., 1988.

Litterfall and productivity in tropical rain forest, Southern Bakundu Forest Reserve, Cameroon. *J. Trop. Ecol.* 4, 25-37.

TANDON V. N., PANDE M. C., SINGH R., 1988.

Biomass estimation and distribution of nutrients in five different aged *Eucalyptus grandis* plantation ecosystems in Kerala State. *Indian For.*, 114 (4), 184-199.

TANDON V. N., RAWAT J. K., SINGH R., 1993.

Biomass production and mineral cycling in plantation ecosystems of eucalyptus hybrid in Haryana. I Biomass production and its distribution. *Indian For.* 119 (3) 232-237.

TURNER J., LAMBERT M. J., 1983.

Nutrient cycling within a 27-year-old *Eucalyptus grandis* plantation in New South Wales. *For. Ecol. Manage.* 6, 155-168.

VERSFELD D. B., DONALD D. G. M., 1991.

Litterfall and nutrient release in mature *Pinus radiata* in the south-western Cape. *South African For. J.* 156, 61-69

R É S U M É

LIGNICULTURE ET MAINTIEN DE LA FERTILITÉ DES SOLS DANS L'OUEST-CAMEROUN

Dans les montagnes sub-humides de l'Ouest-Cameroun, s'est développée depuis quelques décennies l'une des sylvicultures privées les plus dynamiques d'Afrique. Des milliers de paysans y cultivent chacun quelques ares d'eucalyptus pour produire du bois de feu, des perches et des poteaux. L'Etat camerounais a également mis en œuvre une politique de plantations des terrains domaniaux, en utilisant des espèces productrices de bois d'œuvre, dont les pins. Ces boisements publics et privés ont un très bon rendement mais ils sont gérés sans apport d'intrants ; on peut donc se demander si une telle sylviculture peut être durable sans effets néfastes sur le milieu.

A cet égard, une étude a été menée pour déterminer la minéralomasse immobilisée dans la partie aérienne de peuplements d'*Eucalyptus saligna* et de *Pinus kesiya* à différents âges et sur plusieurs types de sol et la comparer aux réserves du sol supposées utilisables.

On constate qu'il est préjudiciable de continuer à tirer de ces boisements l'essentiel de la biomasse aérienne car elle contient une quantité considérable d'éléments minéraux, en particulier dans le jeune bois, l'écorce et les feuilles.

En sylviculture comme en agriculture, l'introduction d'espèces ou de variétés hautement productives doit s'accompagner d'une évolution des pratiques agronomiques concernant la gestion de la fertilité des sols.

Mots-clés : Cameroun. *Eucalyptus saligna*. *Pinus kesiya*. Sylviculture. Fertilité du sol. Plantation forestière. Gestion des ressources.

A B S T R A C T

LIGNICULTURE AND SOIL FERTILITY MAINTENANCE IN WEST CAMEROON

For several decades, the sub-humid mountains of West Cameroon have seen the development of one of the most dynamic forms of private silviculture in Africa. Here, thousands of farmers each grow a few ares of eucalyptus to produce firewood, poles and posts. The Cameroon government has also implemented a planting policy for state-owned land, using timber-producing species, including pines. These afforestations, public and private alike, have a very good yield, but they are managed without input, so there is cause to wonder whether this kind of silviculture can be sustainable, without entailing adverse effects on the environment.

A study about this has been carried out to determine the mineral mass fixed in the aerial part of stands of *Eucalyptus saligna* and *Pinus kesiya* at different ages and in different soil types, and compare it with supposedly useable soil reserves.

It has been observed that it is detrimental to carry on exporting the essence of the aerial biomass from these afforestations, because it contains a considerable quantity of mineral elements, particularly in young wood, bark, and foliage.

In silviculture, as in agriculture, the introduction of highly productive species and varieties must go hand in hand with a development of agronomic practices covering soil fertility management.

Key words : Cameroon. *Eucalyptus saligna*. *Pinus kesiya*. Silviculture. Soil fertility. Forest plantation. Resource management.

R E S U M E N

CULTIVO MADERERO Y MANTENIMIENTO DE LA FERTILIDAD DE LOS SUELOS EN EL OESTE DE CAMERUN

Desde hace ya algunos decenios se viene desarrollando, en las montañas subhúmedas del Oeste del Camerún una de las silviculturas privadas más dinámicas de África. Varios miles de campesinos cultivan en esta región, individualmente, algunas áreas de eucalipto para producir leña, pértigas y postes. El Estado camerunés ha puesto también en aplicación una política de plantaciones en los terrenos patrimoniales utilizando especies productoras de madera para la construcción, entre las cuales figuran los pinos. Estas repoblaciones públicas y privadas se destacan por su buen rendimiento y una silvicultura de este género puede ser duradera sin efectos nefastos para el medio ambiente natural.

Para tal fin, se ha emprendido un estudio para determinar la mineralomasa inmovilizada en la parte aérea de plantaciones de *Eucalyptus saligna* y de *Pinus kesiya* de distintas edades y en varios tipos de suelos, para llevar a cabo una comparación con las reservas del suelo que se supone sean utilizables.

Se comprueba que puede llegar a ser perjudicial seguir exportando de estas plantaciones lo esencial de la biomasa aérea, puesto que ésta contiene una cantidad considerable de elementos minerales y, fundamentalmente, en la madera joven, la corteza y las hojas.

Tanto en silvicultura como en agricultura, la introducción de especies o de variedades de gran producción debe estar acompañada de una evolución de las prácticas agronómicas de gestión de la fertildad de los suelos.

Palabras clave : Camerún. *Eucalyptus saligna*. *Pinus kesiya*. Fertilidad del suelo. Silvicultura. Plantación forestal. Ordenación de recursos.



SYNOPSIS

LIGNICULTURE AND SOIL FERTILITY MAINTENANCE IN WEST CAMEROON

R. NJOUKAM, L. BOCK, J. HEBERT, L. MATHIEU, R. OLIVER, R. PELTIER

For several decades, the sub-humid mountains of West Cameroon have seen the development of one of the most dynamic forms of private silviculture in Africa. Here, thousands of farmers each grow a few ares of eucalyptus to produce firewood, poles and posts. The Cameroon government has also implemented a planting policy for state-owned land, using timber-producing species, including pines. These afforestations, public and private alike, have a very good yield, but they are managed without input, so there is cause to wonder whether this kind of silviculture can be sustainable, without entailing adverse effects on the environment.

A study concerning this issue has been carried out to determine the mineral mass fixed in the aerial part of stands of *Eucalyptus saligna* and *Pinus kesiya* at different ages and in different soil types, and to compare it with supposedly useable soil reserves.

The highest percentage of the biomass occurs in the wood of the trunk (around 80%) for all plots (cf. table II). The foliage only accounts for 1-3% and the proportion of flowers and fruit is negligible. In eucalyptus plots, the weight of the

branches is greater than that of the bark, but the opposite is observed in pines.

At the same age, the concentration of mineral elements is generally higher in eucalyptus than in pine (cf. table III). Over and above the reproductive organs, the leaves (for both species) have the highest levels of N, P, K and Mg. Next in order, for eucalyptus, come the bark, branches, and wood. For pines, the order varies with age. For stands of around 40 years with an aerial biomass of 500 tons per hectare, this biomass fixes approximately: 100 kg of P for eucalyptus and 30 kg for pine, 550 kg of K for eucalyptus and 350 kg for pine, as well as 1 ton of N, 600 kg of Ca, and 140 kg of Mg for both species (cf. table IV). The bark, small branches and foliage usually contain many more mineral elements than the wood. For example, in a 40-year-old eucalyptus stand, the bark, representing 5% of the biomass, stocks 58% of the Ca, whereas the wood, with 75% of the biomass, holds only 8%.

To produce 1 cu.m of marketable timber (cf. table V), eucalyptus requires a slightly higher amount of mineral elements than pine. The mineral mass fixed in the aerial

part of trees is often the equivalent of or higher than the ground reserves of exchangeable or available elements, particularly for K and Ca (cf. fig. 2). But this mineral mass in trees is considerably lower than the total measurable mineral reserves in the upper metre of the ground (cf. fig. 3).

It has been observed that it is detrimental to carry on exporting the essence of the aerial biomass from these afforestations, because it contains a considerable quantity of mineral elements, particularly in young wood, bark, and foliage. One solution would be to extract just barked logs, but it does not seem possible to envisage banning the gathering of twigs and brushwood by women and children, because this has become a habitual practice. Fertilizer would thus have to be introduced to guarantee sustainable production. But this can only be envisaged for the production of posts or timber providing a good cash income.

In silviculture, as in agriculture, the introduction of highly productive species and varieties must go hand in hand with the development of agronomic practices covering soil fertility management

