

ETUDE DE FACTEURS
D'EVOLUTION DU SOL SOUS
EUCALYPTUS CAMALDULENSIS
ET SOUS QUELQUES AUTRES
ESSENCES AU SENEGAL

Rapport de synthèse

Participation au programme
PARFOB/CNRF (ISRA)



OV. 4405

OCTOBRE 1984

ICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

ITRE DE DAKAR - HANN



FBI 010004678

INTRODUCTION : LES OBJECTIFS, LES METHODES D'APPROCHE, LES SITES

I - MOTIVATION et OBJECTIFS

Le Centre National de Recherches Forestières (CNRF) du Sénégal a entrepris, avec l'appui de l'USAID, un programme de recherches sur les plantations d'Eucalyptus de la région de Bandia. Ce programme comprend quatre thèmes : inventaire des potentialités, étude des coûts, bilan hydrique, évolution des sols. L'opération concernant l'évolution des sols fait l'objet du présent rapport.

Les motivations d'un tel programme sont de plusieurs ordres. Les motivations économiques immédiates sont la nécessité de créer à proximité de Dakar une source d'approvisionnement en combustibles sous forme de plantations permettant une exploitation à courte révolution. Dans cette optique, il est nécessaire de déterminer l'aptitude du milieu à renouveler cette matière première. L'approvisionnement en eau et en éléments minéraux des arbres sont les premières conditions à une telle exploitation.

Les motivations écologiques sont la préservation de l'environnement et sont présentes dans toute action de reboisement en zone sahélienne. Le reboisement apparaît comme un moyen de lutter contre la désertification. Il est alors de toute impor-

tance de déterminer si un équilibre favorable peut s'établir entre le milieu et l'espèce forestière plantée ou si une évolution défavorable peut être prévue, quelles sont les techniques permettant d'orienter l'évolution dans l'un ou l'autre sens.

Enfin, les motivations scientifiques sont évidentes : le milieu sahélien est encore mal connu, et en particulier le fonctionnement de l'ensemble "sol-arbre" n'a fait l'objet que de peu de recherches, les problèmes forestiers n'étant généralement étudiés que dans les régions plus humides (ORSTOM-UNESCO, 1983). En ce qui concerne les Eucalyptus de zone sèche, des recherches ont été faites dans des régions à climat méditerranéen (POCHON et al 1959, METRO et al 1958, DEL MORAL et al 1969) et font apparaître l'existence de problèmes relatifs aux sols. Des recherches se développent récemment en Afrique tropicale (THIOMBIANO, 1984, MBEMBA-MAKISA, 1984).

L'objectif des recherches sur l'évolution du sol sera donc d'estimer l'aptitude de l'écosystème à fournir la demande en éléments minéraux liée à une exportation importante, et d'autre part de définir les changements pouvant intervenir dans l'équilibre sol-arbre, à l'origine celui de la "forêt" claire, sous l'influence d'un nouveau peuplement végétal.

II - METHODES D'APPROCHE

Un tel objectif couvre de trop nombreux aspects pour pouvoir être abordé dans son ensemble avec les moyens impartis. On a

donc fait des choix auxquels sont liées les méthodes d'approche adoptées.

Pour étudier l'évolution du sol en fonction d'un changement de végétation, plusieurs approches sont possibles. La première, plus "pédologique", consiste à analyser les sols sous les différentes végétations (naturelle, cultures, plantations ...) et à comparer les résultats. Cette méthode se heurte à de nombreuses difficultés : d'une part, si le changement de végétation est récent, les modifications sont peu évidentes, et limitées, dans le cas de végétation forestière, à une faible profondeur de sol ; d'autre part, l'hétérogénéité du sol est généralement telle que ces comparaisons ne peuvent se faire que sur une base statistique. Les comparaisons basées sur un profil sont d'interprétation difficile à moins d'un milieu particulièrement homogène et d'une influence ancienne de la végétation.

Cette approche a été utilisée pour l'étude des sols sous Eucalyptus au Maroc (METRO et al 1975) pour l'évaluation des réserves minérales, et au Congo (JAMET 1975, MBEMBA-MAKISA, 1984), pour étudier d'une façon générale l'influence de cette espèce.

Une autre méthode, plus "écologique", consiste à étudier les phénomènes susceptibles d'induire une évolution du sol. On s'intéressera dans ce cas plus au fonctionnement du système qu'à l'évolution du sol lui-même. Elle est utilisée au Maroc par SAUVAGEOT et al (1980).

Ces deux approches sont complémentaires. Dans le présent travail, qui concerne des plantations jeunes, on a utilisé la première essentiellement pour l'observation des horizons supérieurs du sol. L'accent a été mis sur l'étude du fonctionnement de l'écosystème.

III - LES SITES ETUDIES

1 - Situation géographique et climatique

Deux sites sont étudiés : le point d'essai CNRF de Bandia, dans la région de Thiès, et celui de Keur Maktar, dans la région du Siné-Saloum. Certains prélèvements ont été faits en dehors de ces deux emplacements à Bambey (région de Diourbel, plantation de 1973), à Koutal (région du Siné-Saloum, plantations de 1973), à Mbao (région du Cap Vert, plantation de 1968).

Les sites se trouvent dans la région sahelo-soudanienne, Bandia étant proche de sa limite nord. Cependant, la période sèche traversée actuellement par cette région de l'Afrique occidentale, fait que les paramètres climatiques actuels des stations sont caractéristiques du climat sahélien : précipitations annuelles inférieures à 500 mm et saison des pluies d'une durée de trois mois. Les moyennes pluviométriques sont de 600 mm à Bandia et 800 mm à Keur Maktar mais ces valeurs n'ont jamais été atteintes pendant la durée de ces recherches.

Tableau 1 : Précipitations dans les sites étudiés, en mm/an

	1980	1981	1982	1983
Bandia	300	400	400	230
Keur Maktar	460	600	470	320

2 - Les sols : description des profils

A Bandia où la topographie des parcelles étudiées est homogène, un seul profil a été décrit. A Keur Maktar où les parcelles sont sur une pente douce en bordure de tanne, trois profils ont été étudiées. L'observation et la description des profils a été faite par J.Y. LOYER (pédologue, ORSTOM, Dakar) et les principaux caractères sont résumés ici.

Bandia. Parcelle Eucalyptus, 1977

- 0-35 cm : Horizon perturbé par un labour profond, alternance de brun humifère et beige moins humifère. Cohésion moyenne à forte. Structure mal définie, peu exprimée, polyédrique émoussée fine dans 0-10 cm. Texture limono-sableuse. Transition nette. 0-10 cm : M.O. 2,3%, somme b.e. 9,9 meq/100g, pH 7,0
- 35-50 cm : beige peu rougeâtre irrégulièrement taché de rouge. Structure polyédrique mal définie. Compacité forte. Sables très fins blanchis. Texture limono-sableuse. Transition nette. Somme b.e. 11,5 meq/100g, pH 8,2
- 50-100 cm : Horizon intermédiaire plus beige avec reflets rougeâtres. Structure mal définie. Cohésion forte. Texture limono-argilo-sableuse. Passage progressif à l'horizon suivant. Somme b.e. 12,2 meq/100g, pH 8,1
- 100 cm : Beige jaunâtre très compacte, légèrement taché ocre rouille avec concrétions ferrugineuses peu abondantes. Non structuré. limon argilo-sableux. Somme b.e. 10,8 meq/100g, pH 7,5.

Synthèse : sol ferrugineux tropical peu ou pas lessivé en fer, faciès hydromorphe sur colluvions argilo-sableuses, avec apport.

Keur Maktar. Parcelle Eucalyptus, 1973

- 0-5/10 cm : Gris brun marbré ocre. Structure en mottes applaties fragiles. Texture sableuse.
M.O. 2,8%, somme b.e. 7,9 meq/100g, pH 6,6.
- 5/10-25 cm : Bariolé gris brun clair et tâches ocres. Hydromorphie +. Non structuré. Texture sableuse, limite irrégulière.
M.O. 0,5%, somme b.e. 1,7 meq/100g, pH 6,1
- 25-65 cm : Bariolé beige jaunâtre et tâches grises et ocres. Hydromorphie +. Non structuré. Texture sableuse, limite nette;
M.O. 0,2%, somme b.e. 0,6 meq/100g, pH 5,3.
- 65-85 cm : Beige foncé tâché ocre. Hydromorphie +. Compact, structure à tendance polyédrique. Texture sableuse, sables plus fins. Passage progressif à gris bariolé et hydromorphie +.
- 85-100 cm : Rouge, moins compacte, moins structuré. Tâché jaune paille et blanc. Texture sableuse.
Somme b.e. 1,8 meq/100g, pH 4,1.
- 100-120 cm : Gley très sableux. Passage progressif à sable ocre jaune.
Somme b.e. 0,5 meq/100g, pH 3,9.

Synthèse : sol ferrugineux tropical peu différencié, hydromorphe à pseudogley sur alluvions colluviales suflatées.

Keur Maktar. Parcelle Eucalyptus, 1974

- 0-30 cm : Brun gris. Structure massive. Texture sableuse.
M.O. 0,3%, somme b.e. 1,5 meq/100g, pH 5,5.
- 30-60 cm : Brun beige avec quelques tâches ocres. Structure massive fragile. Texture sableuse.
M.O. 0,3%, somme b.e. 1,3 meq/100g, pH 5,9.
- 60-120 cm : Passage à beige clair avec tâches ocres diffuses marbré.
Somme b.e. 0,5 meq/100g, pH 5,9.
- 100-150 cm : Blanc-crème, blanchi avec quelques tâches ocres. Horizon lessivé. Structure particulière. Texture très sableuse.
Somme b.e. 0,2 meq/100g, pH 6,4.

150 cm : Ocre à tâche rouges nettes et indurations.
Texture sableuse, quelques endroits plus argileux
en profondeur.
Somme b.e. 0,7 meq/100g, pH 6,0.

Synthèse : sol ferrugineux tropical peu différencié à hydromorphie de profondeur avec lessivage du fer.

Keur Maktar. Végétation naturelle à Acacia Seyal

0-20 cm : Gris brun foncé cendreuse à reflets gris et ocres.
Hydromorphie légère. Structure à éclats, tendance
polyédrique. Texture sableuse fine.
M.O. 1,8%, somme b.e. 6,3 meq/100g, pH 7,1.

20-40 cm : Brun avec des tâches ocres. Structure en éclats
fragiles. Texture sableuse fine.
M.O. 0,6%, somme b.e. 2,8, pH 7,0.

40-60 cm : Beige jaunâtre avec tâches ocres peu nettes.
Structure en éclats moins fragiles. Texture sa-
bleuse.
Somme b.e. 1,6 meq/100g, pH 6,7.

60-100 cm : Ocre jaune avec tâches claires ou ocres peu net-
tes. A la base niveau de tâches rouges disconti-
nues. Pseudogley avec indurations. Structure en
éclats. Texture sableuse fine.
Somme b.e. 1,8 meq/100g, pH 5,9.

100-120 cm : Ocre avec début de blanchiment. Structure en
éclats fragiles. Texture très sableuse, sables
grossiers.

120 cm : Horizon blanchi.
Somme b.e. 0,5 meq/100g, pH 6,1.

Synthèse : sol ferrugineux tropical peu différencié, hydromor-
phe à pseudogley, avec lessivage du fer.

3 - Les sols : analyses

L'estimation des teneurs des sols en différents éléments
minéraux a été faite sur des prélèvements à la carrière, décou-
pés en tranches de profondeur 0-10 cm, 20-40 cm, 40-60 cm. La
profondeur de 0 à 60 cm représente la zone où les racines sont
relativement abondantes. Dans chaque parcelle, 9 ou 10 répé-

titions permettent une estimation statistique de la variabilité (tableaux 2 et 3) (1). Les résultats de Keur Maktar reflètent l'hétérogénéité du site. A Bandia, seuls les horizons 0-10 cm diffèrent dans les deux parcelles.

Tableau 2 : BANDIA. Analyses de sol (1980), moyennes de 10 profils. m = moyenne ; Sm = écart type de la moyenne

		Parcelle Eucalyptus 1976				Parcelle forêt naturelle			
		0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm	40-60 cm
C%	m	8,2	6,2	4,7	4,3	13,7	6,1	5,0	4,1
	Sm	0,8	0,6	0,5	0,3	1,7	0,5	0,4	0,3
N%	m	0,60	0,44	0,33	0,29	1,08	0,43	0,35	0,30
	Sm	0,06	0,04	0,02	0,01	0,12	0,03	0,02	0,03
P total P ₂ O ₅ %	m	1,10	1,15	1,15	1,23	0,99	1,08	1,09	1,07
	Sm	0,04	0,04	0,05	0,06	0,06	0,09	0,09	0,10
Fe total Fe ₂ O ₃ %	m	2,38	2,54	2,74	3,05	2,01	2,62	2,81	3,11
	Sm	0,15	0,16	0,22	0,18	0,14	0,23	0,16	0,17
Fe libre Fe ₂ O ₃ %	m	1,59	1,78	1,88	1,95	1,30	1,71	1,87	2,05
	Sm	0,09	0,14	0,11	0,12	0,12	0,14	0,14	0,14
Bases échan- geables meq/100g sol	Ca	m	7,1	6,9	7,2	7,9	8,0	7,8	8,9
		Sm	0,87	0,82	0,76	0,72	0,65	0,52	0,56
	Mg	m	1,81	1,67	1,66	1,66	2,08	1,86	1,85
		Sm	0,19	0,19	0,16	0,15	0,13	0,10	0,07
	K	m	0,26	0,06	0,04	0,04	0,23	0,04	0,03
		Sm	0,02	0,02	0,01	0,01	0,03	0,02	0,02
Taux de satura- tion %	m	80	87	82	89	84	86	91	89
	Sm	4	4	4	3	5	4	1	1
pH	m	6,41	5,91	5,94	5,91	6,14	6,01	5,99	5,90
	Sm	0,15	0,12	0,11	0,10	0,09	0,20	0,16	0,14

(1) Analyses faites au Laboratoire d'Analyses de l'ORSTOM, Dakar, sous la direction de C. PAYCHENG.

Tableau 3 : KEUR MAKTAR. Analyses de sols faites en 1980,
moyenne de 10 profils. m = moyenne, Sm = écart-
type de la moyenne.

		Parcelle Eucalyptus 1973				Parcelle forêt naturelle			
		0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm	40-60 cm
C%	m	7,7	3,3	2,2	1,6	15,8	5,3	3,8	3,2
	Sm	0,65	0,27	0,15	0,14	1,9	0,75	0,42	0,46
N%	m	0,53	0,22	0,15	0,11	1,13	0,37	0,25	0,22
	Sm	0,059	0,016	0,010	0,007	0,13	0,046	0,026	0,031
P total									
P ₂ O ₃ %	m	0,130	0,090	0,079	0,069	0,192	0,119	0,108	0,096
	Sm	0,008	0,005	0,004	0,002	0,013	0,007	0,004	0,006
Fe total									
F ₂ O ₃ %	m	0,48	0,50	0,58	0,58	0,70	0,77	0,83	0,89
	Sm	0,035	0,047	0,063	0,070	0,056	0,054	0,076	0,092
Fe libre									
F ₂ O ₃ %	m	0,34	0,37	0,40	0,43	0,49	0,55	0,61	0,63
	Sm	0,039	0,035	0,040	0,055	0,033	0,030	0,047	0,056
Bases échan- geables meq/100g sol	Ca	3,4	1,8	1,3	0,9	6,8	2,9	2,2	1,9
	Sm	0,47	0,29	0,22	0,19	0,65	0,32	0,19	0,18
	Mg	0,46	0,18	0,14	0,11	1,21	0,73	0,80	0,81
	Sm	0,053	0,017	0,013	0,010	0,13	0,11	0,17	0,21
	K	0,161	0,063	0,047	0,034	0,368	0,138	0,113	0,093
	Sm	0,025	0,007	0,005	0,004	0,048	0,015	0,009	0,006
Taux de satu- ration %		76	54	54	44	94	78	75	71
	m	6	7	8	6	3	2	3	6
	Sm								
pH	m	6,50	5,72	5,60	5,48	6,35	6,30	6,12	6,07
	Sm	0,09	0,13	0,13	0,13	0,09	0,11	0,08	0,08

4 - La végétation

Le point d'essai de Bandia est situé dans une forêt classée de type forêt sèche dont la végétation a été suivie par P. N'DIAYE (1). Elle est dominée par Acacia seyal. On y trouve aussi A. ataxacantha et plus rarement A. siberiana. Les Combretacées y sont assez importantes : Guiera senegalensis, Combretum glutinosum, C. micranthum. La composition de la strate herbacée est très variable d'une année à l'autre, et comprend de nombreuses espèces de graminées, légumineuses, composées, malvacées, convolvulacées etc.

A Keur Maktar, la végétation est une savane arborée où, par endroit, le couvert des arbres est assez dense pour créer un milieu forestier. C'est dans un tel endroit qu'est situé le point d'essai. Il s'agit d'un peuplement presque pur à Acacia seyal. En saison des pluies, l'ombre est dense et le sol est recouvert par une composée, Blainvillea gayana, plante annuelle qui forme une strate d'environ 80 cm de haut. Elle est remplacée dans les petites clairières par un tapis de graminées.

Dans les deux sites, les plantations sont faites avec Eucalyptus camaldulensis à l'écartement de 3,5 m. Les parcelles comprennent plusieurs sous parcelles de provenances différentes dont il n'a pas été tenu compte. Le développement de la strate herbacée est très variable selon les années et les parcelles.

(1) Assistant au laboratoire de zoologie de l'ORSTOM, Dakar.

Elle est dominée par les graminées ; à Bandia, les espèces sont nombreuses, avec Cassia tora et quelques autres dicotyledones. A Keur Maktar, la strate herbacée de la parcelle étudiée est largement dominée par Andropogon gayanus avec une certaine abondance de Pennisetum pedicellatum.

Les exploitations prévues ont obligé à changer de parcelle en cours d'étude ; leur âge est indiqué ci-dessous :

Tableau 4 : année de plantation et âge des parcelles
(en nombre de saisons des pluies)

Année de mesure	1980	1981	1982	1983
Bandia	1976	1976	1977	1977
	5	6	6	7
Keur Maktar	1973	1974	1974	1974
	8	9	9	10

PREMIERE PARTIE : DECOMPOSITION ET INCORPORATION DES LITIERES
A LA MATIERE ORGANIQUE DU SOL (SYNTHESE DES RESULTATS)

I - INTRODUCTION

Un des effets immédiats du remplacement de la végétation naturelle par une essence forestière est l'apport à la surface du sol d'une litière de composition particulière. Le premier stade de son influence sur le sol va être lié aux processus de décomposition et d'incorporation. Par l'intermédiaire d'un nouveau microclimat, un nouveau type de végétation herbacée peut également contribuer à la différenciation de la matière organique.

C'est au niveau de la surface du sol que l'on a choisi de porter l'essentiel des recherches, car c'est là que s'engage le processus d'humification des litières aériennes et que les phénomènes de différenciation peuvent être saisis à court terme.

Les recherches ont porté principalement sur les plantations d'Eucalyptus en les comparant à la forêt à Acacia, mais on a également fait des observations sur des plantations de Neem (Azadirachta indica) de Niaouli (Melaleuca sp.), de Prosopis juliflora, et à quelques arbres de la végétation naturelle (Parinari macrophylla, Balanites aegyptiaca).

II - LES MODALITES DE DECOMPOSITION DES LITIERES

Deux types d'expérimentation ont été faits : mesure de perte de poids in situ par les méthodes classiques de sacs en grillage, et mesure de décomposition in vitro par un dispositif décrit précédemment (rapport 1981). Une partie des résultats est exposée dans les rapports de 1981 et 1982. On fera ici la synthèse de l'ensemble des résultats acquis.

1 - La minéralisation du carbone

Certains essais ont été faits en mesurant le CO₂ dégagé en milieu confiné pendant 24 h, ceci tous les deux ou trois jours. Les autres ont été faits en cumulant pendant un à trois jours le CO₂ dégagé sous circulation d'air continu (voir annexe 1).

Les résultats globaux obtenus sur les litières de feuilles sont résumés dans le tableau suivant.

Tableau 5 : Carbone minéralisé en mg par g de litière initiale pendant la durée de l'essai. Valeurs des différents essais et valeur moyenne.

Durée en jours	15		30/40	
Méthode	Circulation d'air		air confiné 24 h	
Eucalyptus	67.73	m = 70	45.54.56.45	m = 50
Acacia		129	75.77.71	m = 74
Neem				74
Niaouli				34
Prosopis		172		
Parinari				31
Andropogon	60.57	m = 59		51
Blainvillea	48.53	m = 55		71

Les résultats montrent que les litières fraîches d'Acacia, de Prosopis et de Neem sont riches en composés facilement minéralisables qui font défaut dans les litières de Parinari et de Niaouli. Les litières herbacées se situent dans les valeurs moyennes avec l'Eucalyptus mais l'évolution du dégagement est très différent : avec la litière d'Eucalyptus et des autres litières d'arbres, on observe une forte minéralisation les premiers jours puis une diminution sensible. Ceci est très peu marqué dans le cas des litières herbacées où la minéralisation est plus régulière, ce qui correspond comme on le verra plus loin à une faible teneur en hydrosolubles.


Si pour l'ensemble des litières d'arbres on obtient une corrélation entre le carbone minéralisé et la perte de poids, les litières herbacées sortent de cette relation. La méthode utilisée retient comme "poids restant" la litière non fragmentée à 0,5 mm. Dans les litières herbacée, si la décomposition n'aboutit pas à une destruction des tissus et une fragmentation, la perte de poids restera faible même avec une minéralisation active du carbone.

Les mesures faites sur des litières anciennes montrent une minéralisation réduite du carbone, la matière organique restante étant peu dégradable. A ceci font exception la litière d'Eucalyptus et les litières des herbacées étudiées.

2 - La perte de composés hydrosolubles au cours de la décomposition

Au cours des expériences de décomposition in vitro, des percolations tous les trois à quatre jours ont permis de quantifier le carbone perdu sous forme soluble (rapport 1981 et annexe 1).

On peut classer les espèces étudiées dans l'ordre des pertes décroissantes en hydrosolubles :

- Niaouli : <u>M. viridiflora</u>		quantité
- Eucalyptus		croissante
- Neem, Prosopis		
- Acacia		
- Parinari, herbacées		très peu d'hydro-
- Niaouli : <u>M. quinquinerva</u>		solubles

La teneur en carbone observée dans les percolats est maximum après 4 à 10 jours sous les litières d'Eucalyptus et Niaouli, et malgré une diminution reste appréciable ensuite. Pour les autres espèces c'est la première percolation qui est la plus riche en carbone, la teneur devenant rapidement insignifiante ensuite (figure 1).

Les quantités de C hydrosoluble que l'on peut extraire par agitation de litière fraîche broyée dans de l'eau montrent les valeurs les plus élevées pour l'Eucalyptus, le neem, le Prosopis ; chez Eucalyptus, on a vu que la teneur en hydrosoluble augmente pendant les premiers jours de décomposition (rapport 1981).

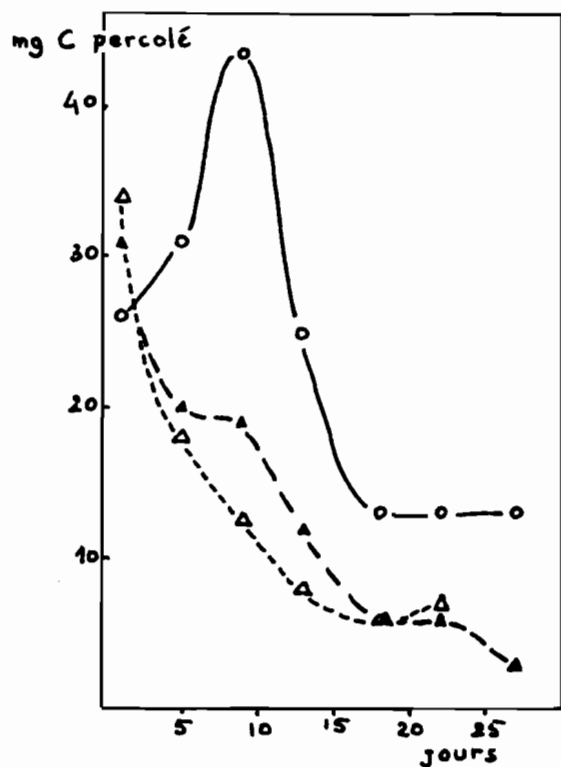


Figure 1. perte de matière organique hydrosoluble au cours de la décomposition in vitro de 4g de litière

○ Eucalyptus camaldulensis
 △ Acacia seyal
 ▲ Prosopis juliflora

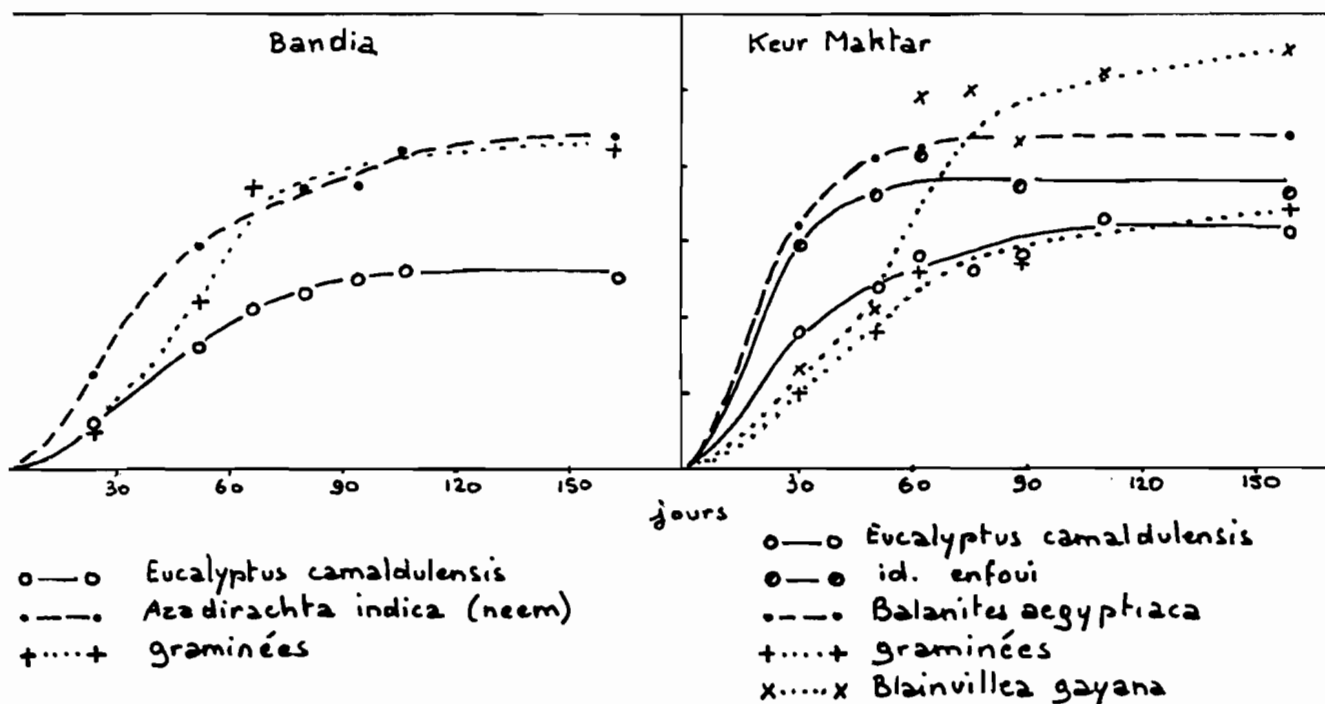


Figure 2. Perte de poids, en % du poids initial, de la litière in situ en 1983. (Début le 20 juin)

Le pH des percolats a été mesuré pendant les 4 à 15 premiers jours d'incubation des litières. Dès le deuxième jour, ils ont atteint une valeur qui reste ensuite à peu près constante. On peut ainsi classer les espèces (tableau 6).

Tableau 3 : pH moyen des percolats à partir du 2ème jour

Eucalyptus	5,5 à 6,5	Percolats acides
Niaouli	6,3	
Prosopis	7,0	Percolats neutres ou proches de la neutralité
Parinari	7,0	
Acacia	7,1 à 7,3	
Blainvillea	7,3	
Andropogon	7,9	Percolats basiques
Pennisetum	8,2	
Neem	7,8 à 8,2	

Les deux espèces dont les percolats sont les plus chargés en carbone ont un pouvoir acidifiant. Les percolats d'Acacia sont sans doute peu influents étant donné leur pH neutre et leur faible teneur en carbone, qui est par ailleurs facilement minéralisable (rapport 1981). Les percolats de neem sont basiques et relativement chargés en carbone.

3 - Les teneurs des litières en composés extractibles aux alcalins

Certains auteurs ont utilisé les mêmes techniques que sur le

sol pour extraire les humus des litières, mais il semble qu'avec des extractions en milieu fortement basique, on obtienne des fractions tout à fait artificielles (SAUERBECK et al 1968). On a utilisé ici des extractions au pyrophosphate de sodium après une première extraction à l'eau (cf. annexe 1).

Les extractions faites sur la litière initiale donnent des teneurs décroissantes dans l'ordre Acacia, Eucalyptus, Neem, Prosopis, mais les différences sont faibles. Après trois ou quatre semaines de décomposition, seule la litière d'Eucalyptus conserve une teneur peu changée en ces composés. Dans les autres litières, la teneur en composés extractibles au pyrophosphate diminue beaucoup après trois semaines d'incubation, soit parce qu'ils sont incorporés aux substances non extractibles et transformés en humine, soit parce qu'ils sont dégradés. Quoiqu'il en soit, la litière d'Eucalyptus a un comportement différent. ZIGUNOV et al (1977), étudiant la décomposition du matériel végétal, indiquent la présence d'acides humiques dès le premier mois de décomposition, alors que du matériel frais la soude extrait des substances non humiques. Dans le cas des litières forestières, la formation de composés humiques peut se faire au cours de la sénescence. Peu de changements interviendraient dans la litière d'Eucalyptus au cours de la décomposition, alors qu'une condensation plus poussée se produirait dans la litière d'Acacia, que traduit la coloration noire du résidu.

Les litières herbacées ne contiennent que peu de substances extractibles au pyrophosphate.

4 - Le phénomène global : la perte de poids

a) - Décomposition au laboratoire

La méthode et certains résultats ont été exposés (rapport 1981). L'ensemble des essais donne les résultats du tableau 7, où les espèces sont classés en ordre de vitesse de décomposition décroissante.

Tableau 7 : perte de poids de la litière, en % du poids initial au cours d'incubation in vitro.

	15/21 jours		28/32 jours	
	divers essais	Moyenne	Divers essais	Moyenne
Prosopis			50	50
Neem	30	30	35.42	39
Acacia	20.19	20	26.31.31.32	30
Eucalyptus	12.22.19.15.19	17	18.21.26.25.31	24
Niaouli			22	22
Parinari			7.8.15	10
Blainvillea	18.9	14	10	10
Andropogon	15.6	11	8	8

b) - Décomposition in situ

Les résultats de 1981 ne concernaient que la litière d'Euca-

lyptus et montraient une vitesse de disparition moyenne. En 1983, on a mis en place des litières de plusieurs espèces, mais la saison des pluies a été très déficitaire ce qui, limitant la décomposition, a atténué les éventuelles différences entre espèces (figure 2).

Les litières ont été mises en place dans des grillages moustiquaires en plastique, à maille 1-2mm. Cependant, les litières de Prosopis et Acacia à cause de la taille de leurs feuilles, ont été mises dans du grillage inoxydable à maille 0,25 mm et ont montré une perte de poids très faible. L'exclusion de la faune ne semble pas seule en cause puisque in vitro ces espèces se décomposaient rapidement, mais plutôt l'absence d'effect directe de la pluie.

Tableau 8 : perte de poids de la litière, en % du poids initial, au cours de la décomposition in situ en 1983 (entre parenthèses l'écart type de la moyenne et le nombre de répétitions)

		11.8	Fin d'hivernage
Bandia	Neem	29	44 (1,n = 12)
	Graminées		41 (4,n = 11)
	Eucalyptus	16	25 (1,n = 10)
Keur Maktar	Blainvillea	13	53 (2,n = 2)
	Graminées	10	44 (2,n = 2)
	Eucalyptus	18	31 (1,n = 25)
	id. (enfoui)	29	36 (1,n = 2)

On note que les herbacées, qui montraient la perte de poids la plus faible in vitro, se décomposent très rapidement in situ. En ce qui concerne l'Eucalyptus, les techniques forestières impliquant un labour dans les jeunes plantations ou les plantations recepées, la litière se trouve alors enfouie. Pour en évaluer les conséquences, on a enfoui un certain nombre de sacs de litières dans un recrut de 2 ans. Dans ces conditions, la décomposition est très rapide au départ : outre une meilleure conservation de l'humidité, la diffusion des substances hydro-solubles dans le sol (démontrée in vitro, rapport 1981) a certainement une influence. En fin de saison des pluies, la différence avec les litières non enfouies n'est plus très grande.

Enfin, la décomposition peut être calculée à partir de la mesure de la quantité de litière sur le sol (rapport 1981). On a montré par cette méthode (rapport 1982) que, alors que la litière d'Eucalyptus ne subissait aucun changement de poids pendant la saison sèche, la litière herbacée perd environ 50% de son poids que l'on retrouve intégralement dans les "débris" inférieurs à 5 mm.

5 - Discussion

a) - Litière herbacée et litières d'arbres

Pour tous les paramètres mesurés, la litière de *Blainvillea* (1)

(1) Il s'agit essentiellement des tiges ; les feuilles noircissant sur pied (peut être à cause d'un parasite) et tombant très rapidement avant la fin de la saison des pluies.

montre les mêmes caractères que celle des graminées. On remarque une opposition assez nette entre la décomposition des herbacées et celle des litières d'arbres : perte de poids, hydrosolubles, acides humiques, comportement en saison sèche.

La cause du comportement différent des litières herbacées in situ et in vitro est vraisemblablement à rechercher dans une intervention efficace de la faune, facteur qui est pratiquement supprimé dans les essais in vitro faits sur sable ou sur sol séché avec inoculation par un extrait du sol. De nombreuses observations de terrain, aussi bien en savane sahélienne du Ferlo que dans les sites étudiés ici, nous ont montré que les termites n'attaquent pas de façon visible les litières de feuilles d'arbre alors qu'elles attaquent les litières d'herbe, et selon SWIFT et al (1979) les caractères d'appétence d'une espèce végétal sont souvent valables pour l'ensemble de la faune du sol. WOODS et al (1983) ont remarqué que les feuilles d'Eucalyptus cueillies vertes et posées sur le sol sont consommées par la faune alors que la litière ne l'était pas.

Le fractionnement des herbes par la faune semble donc nécessaire pour qu'elles se décomposent, mais ceci étant, la litière herbacée présente certains caractères favorables à une décomposition rapide : elles contiennent moins de lignine (deux fois moins selon des données de zone tempérée) et plus de cellulose que les litières d'arbres, elles sont plus riches en azote et éléments minéraux. Enfin à ceci s'ajoutent les observations

sur la permanence d'une minéralisation du carbone active dans la litière ancienne et la faible quantité de substances humiques. On est amené à l'hypothèse d'une mauvaise efficacité de la litière ancienne herbacée dans la construction d'un stock d'humus, ce qui n'exclut pas qu'elle y participe étant donné la forte production que l'on trouve dans certaines plantations.

b) - Comparaison des litières d'arbres

La litière d'Eucalyptus, et celle de Melaleuca viridi flora se comportent de façon identique, contiennent beaucoup de substances hydrosolubles, dont la perte par pluviolessivage représente une partie importante de la perte de poids. WOODS (1974) estime que 10 à 20 % de la litière d'Eucalyptus delegatensis disparaît en un an sous forme d'hydrosolubles. O'CONNEL et al (1983) estiment que 27 et 18 % de la litière de deux espèces d'Eucalyptus australiens sont extractibles à l'eau froide en vingt-quatre heures et correspondent à la perte de poids des six premiers mois de décomposition in situ.

Si la perte de poids et la minéralisation du carbone ne sont que moyens dans la litière fraîche d'Eucalyptus, elles semblent pouvoir se poursuivre longtemps. La présence constante, au cours de la décomposition, de substances relativement extractibles (à l'eau et au pyrophosphate) et la couleur claire de la litière après plusieurs semaines de décomposition suggèrent l'absence de formation des produits de condensation avec

les protéines auxquels est lié le noircissement.

Sur le terrain, les fragments de feuilles gris clair que l'on trouve sous la litière fraîche recouvrent directement le sol minéral.

A l'opposé, la litière d'Acacia se minéralise rapidement lorsqu'elle est fraîche mais ensuite. Elle prend au cours des premières semaines une couleur noire et ne contient plus que peu de composés extractibles. Sur le terrain, une couche noire de matière organique en fragments plus ou moins reconnaissables recouvre le sol. Le Neem semble se comporter de façon intermédiaire entre l'Eucalyptus et l'Acacia. Le Prosopis montre une décomposition rapide liée à une forte minéralisation du carbone, qui reste élevée dans la litière ancienne.

c - Les litières d'arbres autres que les feuilles

La litière d'Eucalyptus comprend une partie importante constituée par les écorces caduques, et dans certaines plantations par les fruits.

Les mesures de décomposition des écorces ont montré une perte de poids de 10 % la première année. L'année suivante, elle restait très faible dans les lots non attaqués par les termites, mais les écorces disparaissent complètement lorsqu'elles sont attaquées ; des observations qualitatives laissent penser que les termites sont également le principal facteur de disparition du bois. Aucune mesure n'a été faite sur

les fruits, mais le fait qu'on les retrouve dans le premier cm de sol et à sa surface montre qu'ils se décomposent lentement.

Sous Acacia, les fleurs sont produites en abondance certaines années. Des mesures in vitro ont montré qu'elles contenaient une grande quantité de carbone facilement minéralisable, mais qu'ensuite elles se comportaient comme les feuilles, donnant un résidu noir résistant.

d) - Conclusion

Les processus de décomposition déterminent la qualité et la quantité de matière organique incorporée au sol. Aussi serait-il intéressant de mettre en évidence les caractères des litières liés à ces processus et la caractérisation physique et chimique des litières des diverses espèces forestières devrait prolonger ce travail.

III - LA MATIERE ORGANIQUE DU SOL SUPERFICIEL

La litière est incorporée au sol d'une part sous forme soluble et d'autre part par fragmentation sous l'effet des facteurs biologiques et physiques. L'observation de l'interface sol-litière (0-1 cm du sol) permet de saisir certains aspects des modalités du passage de la litière au sol par fragmentation. La méthode de fractionnement granulométrique utilisée a été décrite précédemment (rapport 1982).

1 - Différenciation de la matière organique de surface (0-1 cm)

Les résultats acquis ont été exposés en détail dans le rapport 1982. Le tableau 9 donne un résumé schématique des observations faites.

Tableau 9 - Carbone de chaque fraction, en $\frac{^{\circ}}{_{\infty}}$ du sol total, dans l'horizon
0-1 cm de sols prélevés sous diverses espèces d'arbres

	Nombre de mesures	Litière >>0,5 mm	Fractions légères 0,05-0,5 mm	Argiles + limons < 0,05 mm	Age ans	
A	Eucalyptus	8	25,6	4,1	2,9	8-10
	Niaouli	5	77,3	6,2	2,5	9-11
	Neem	3	36,6	8,5	4,2	9
	Prosopis	1	38,8	10,8	4,4	9
	Acacia	6	49,6	17,8	4,8	-
B	Eucalyptus	5	31,7	4,0	6,5	6-7
	Prosopis	4	25,2	4,0	6,2	5
	Prosopis (1)	3	99,0	17,5	10,5	env. 12
	Neem	2	69,5	13,9	10,2	> 10
	Acacia	4	78,6	25,4	9,6	-

A : sols sableux. B : sablo-argileux. (1) Ihies : résultats exprimés par rapport à la terre fine. Ce sol contient 3 à 17 % de graviers.

Le fait de considérer l'horizon 0-1 cm doit minimiser l'influence de l'âge, pour une production de litière donnée. La plantation de Prosopis de Bandia (B 2e ligne) est constituée d'arbres encore petits avec une production de litière vraisemblablement réduite, ce qui explique la différence avec les Prosopis de Thies. Les autres plantations ont des couronnes, donc une production de feuilles, sans doute peu différentes de l'état "adulte".

Ce tableau, en particulier la partie concernant les sols sableux, permet d'opposer les sols sous Eucalyptus et Niaouli, d'une part, des sols prélevés sous Neem et Prosopis, d'autre part. Ces derniers se rapprochent beaucoup plus de ce que l'on observe sous forêt à Acacia. Le Prosopis semble particulièrement apte à reconstituer un horizon humifère de type forestier. L'appauvrissement relatif sous Eucalyptus et Melaleuca concerne aussi bien les fractions légères que la fraction organominérale, celle-ci voyant sa teneur en carbone diminuer sous Eucalyptus.

2 - Caractérisation des fractions du sol de surface sous Eucalyptus et sous forêt

On a pu caractériser les fractions par leur rapport C/N : les différences significatives observées entre espèces dans les fractions légères diminuent, ainsi que la valeur du rapport, avec la granulométrie et ne sont plus significatives dans

la fraction organominérale (rapport 1982). On examine ici leur aptitude à la dégradation et la nature de leurs composés humiques.

a) - Aptitude à la minéralisation du carbone

Trois à 20 g de fraction mélangés à du sable, humidifiés et inoculés avec de l'extrait de sol ont été mis en incubation dans des tubes permettant une circulation d'air et la mesure du CO₂ dégagé cumulé sur 24 à 48 heures. Les incubations ont été faites à température ambiante (25 à 30°), chaque série de mesure comprenant toutes les fractions pour Eucalyptus et Acacia d'un site donné. Ces conditions d'expérimentation ne permettent pas une reproductibilité exacte entre les deux répétitions successives mais les conclusions retenues ne tiennent compte que des observations reproductibles.

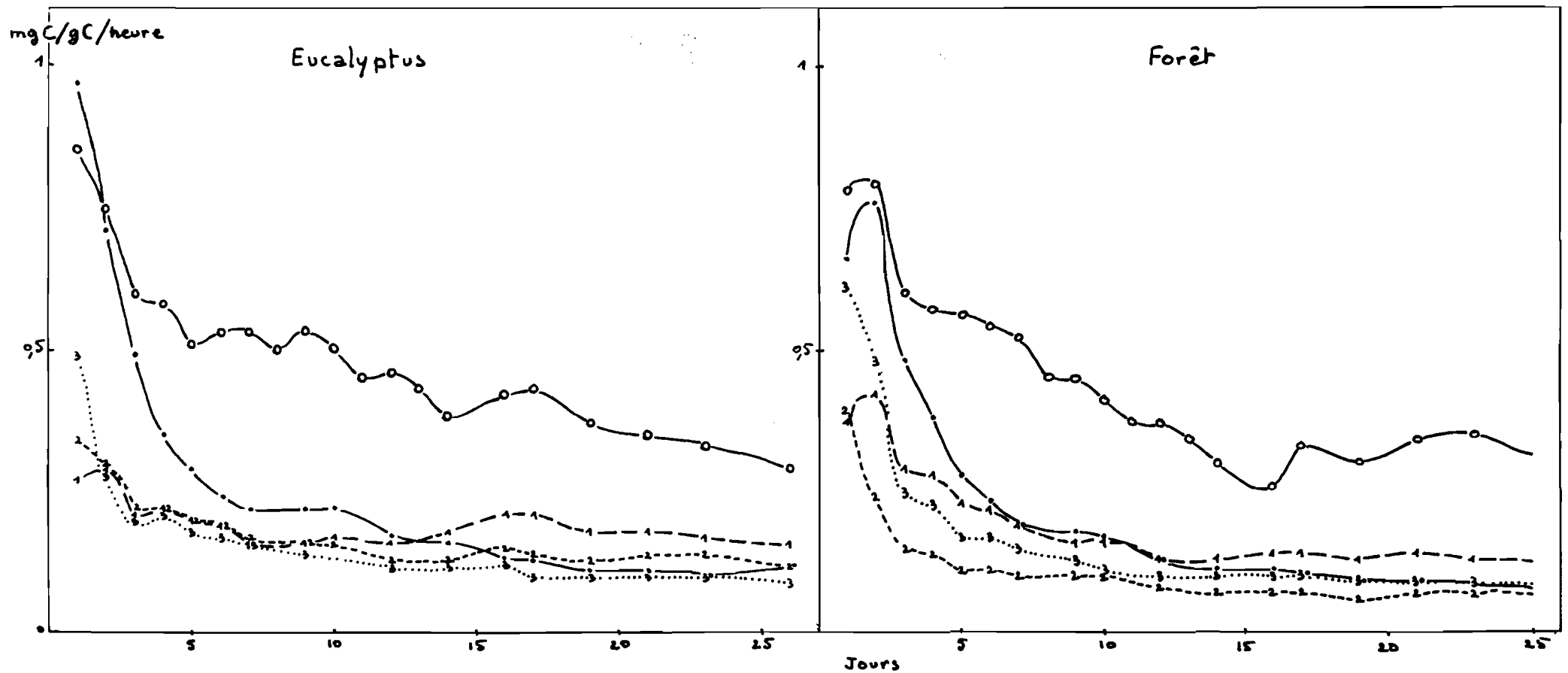
Les résultats sont donnés au tableau 10 et à la figure 3. Les fractions sont définies comme suit : Fo > 4 mm, F1 de 0,5 à 4 mm, F2 de 0,2 à 0,5 mm, F3 de 0,05 à 0,2 mm, F4 < 0,05 mm.

- Aptitude à la dégradation des fractions

La fraction Fo se distingue des autres par une minéralisation plus active, bien que, sous Acacia, les feuilles se trouvent dans la fraction F1 en mélange avec des débris. Les fractions F1 à F4 ont une capacité de minéralisation globalement proche. Cependant, la fraction F4 se distingue par une forte minéralisation au départ. Il est vraisemblable que cette

Figure 3 . Minéralisation du carbone des fractions du sol 0-1cm de Bandia exprimée en mgC minéralisé par g C initial de la fraction et par heure .

o—o $F_0 > 4mm$ 1—1 $F_1 0,5-4mm$ 2---2 $F_2 0,2-0,5mm$ 3.....3 $F_3 0,05-0,5mm$ —•—• $F_4 < 0,05mm$



fraction recueille des éléments de la microflore dont la partie morte constitue une source de carbone facilement dégradable.

- Comparaison Eucalyptus/Acacia

La fraction Fo donne des résultats variables, un petit échantillon n'étant pas représentatif étant donné son hétérogénéité. Dans une première phase, la minéralisation du carbone dans les fractions F1 à F4 est généralement supérieure dans les fractions Acacia, ce qui correspond à une plus grande quantité de carbone facilement dégradable. A plus long terme, les fractions Acacia sont plus résistantes que les fractions Eucalyptus (tableau 10). Ceci est net dans le sol de Bandia mais moins dans le sol de Keur Maktar, et les différences observées ne sont pas importantes. On peut cependant penser qu'à long terme elles signifient une plus grande résistance des fractions sous Acacia.

Tableau 10 Minéralisation du carbone dans les fractions de l'horizon 0-1 cm à Bandia en mg C/g C, moyennes de deux répétitions

		Fo	F1	F2	F3	F4
0-10 jours	Eucalyptus	102	46	44	61	70
	Acacia	127	56	44	54	81
10-26 jours	Eucalyptus	131	65	54	57	53
	Acacia	134	51	36	40	46

L'aptitude à la dégradation des fractions est sensiblement

plus élevée dans le sol de Bandia que dans le sol de Keur Maktar.

b) - Minéralisation de l'azote des fractions

Trois à 10 g de fraction sont mélangés à du sable, humidifiés et additionnés d'extrait de sol, puis incubés 20 jours à 32° dans des erlenmeyers.

On n'observe aucune minéralisation dans les fractions Fo et F1. Dans F2, la minéralisation peut être importante dans les fractions Acacia, mais reste faible ou nulle dans les fractions Eucalyptus. Le rapport C/N n'est sans doute pas seul en cause car à ce stade il n'est pas très élevé mais l'azote est sous une forme résistante, et dans les fractions F3, la minéralisation reste faible ou moyenne pour Eucalyptus. Par contre, la minéralisation dans la fraction F4 est active dans tous les cas.

Il faut donc sous Eucalyptus une transformation de l'azote avant sa minéralisation et la fraction organominérale fournit 70 à 90% de l'azote disponible pour la végétation. Sous Acacia, les fractions F2, F3 et F4 interviennent d'une façon équivalente pour la production d'azote minéral.

La minéralisation est en général plus élevée dans les fractions du sol de Bandia que dans celles du sol de Keur Maktar.

Tableau 11 Azote minéralisé en 20 jours dans les fractions du sol 0-1 cm (moyennes de deux répétitions), en pourcentage de l'N de la fraction (% N) et en pourcentage du total minéralisé dans le sol (% T)

		Fo	F1	F2	F3	F4
Bandia	Eucalyptus % N	0	0	0,7	3,0	10,2
	% T			4	18	78
	Acacia % N	0	0	3,4	6,0	8,5
	% T			23	36	41
Keur Maktar	Eucalyptus % N	0	0	0	6,3	11,5
	% T				14	86
	Acacia % N	0	0,3	10,2	9,2	12,7
	% T		3	43	21	33

Ces observations faites sur la dégradation de l'azote et du carbone montrent des différences entre Eucalyptus et Acacia plus importantes dans le cas de l'azote, et rendent compte des valeurs du rapport C/N des fractions qui décroît avec la granulométrie beaucoup plus vite sous Eucalyptus que sous Acacia (rapport 1982).

c) - Les formes d'humus dans les fractions

Le fractionnement chimique de l'humus a été fait par le laboratoire ORSTOM de Bondy selon sa méthode propre (ORSTOM,

SSC, et DABIN, 1980-1981). Les fractions suivantes sont séparées :

Matière légère (flotation) : MOL

Acides fulviques libres, AFL

Acides humiques pyrophosphate, AHP

Acides fulviques pyrophosphate, AFP

Acides humiques soude, AHS

Acides fulviques soude, AFS

Humine

Les fractions AHS et AFS n'ont pas été dosées sur les matières légères, car la soude extrait des substances non humiques du matériel végétal.

Le fractionnement chimique a d'abord été fait sur les échantillons de sol entiers de l'horizon 0-1 cm, donnant les résultats du tableau 12. On observe qu'une plus grande partie du carbone se trouve dans l'humine sous Eucalyptus. Cette

Tableau 12 : Fractionnement chimique de l'humus dans le sol 0-1 cm (sans la litière), en C% du C total

		MOL	AFL	AHP	AFP	AHS	AFS	Humine
ia	Eucalyptus	14,9	3,0	7,3	6,8	9,2	12,1	45,8
	Forêt	10,5	3,6	5,8	7,1	6,7	17,4	39,3
ktar	Eucalyptus	14,4	3,5	5,9	6,4	7,6	11,6	51,0
	Forêt	10,3	3,1	4,6	6,6	6,0	18,2	41,8

humine a été fractionnée, et le sol prélevé sous Eucalyptus se différencie par une plus forte proportion du carbone dans

l'humine de précipitation et dans l'humine héritée, et plus faible dans l'humine résiduelle.

- Les fractions légères

La séparation chimique dans les fractions légères (annexe 2) permet de différencier les sols des deux végétations au niveau de la répartition des acides fulviques libres (figure 4). La teneur élevée de la fraction litière (Fo) en AFL sous Eucalyptus rend compte de sa teneur en hydrosolubles qui disparaissent dans les fractions plus fines par lessivage et minéralisation.

La proportion des acides humiques gris dans les AHP différencie également les fractions légères sous Eucalyptus et sous forêt (figure 4).

La fraction litière sous Eucalyptus se caractérise par plus d'AFL, plus d'AHP bruns et d'AFP que la fraction litière de forêt. Ces caractères soulignent une tendance à l'humidification par voie soluble. Ils se modifient rapidement au cours de la fragmentation vers la fraction F1. Au regard de cette séparation chimique, les fractions F3 sont assez homogènes dans les deux sols et les deux végétations.

- La fraction organominérale

La séparation chimique des acides humiques donne les résultats de la figure 5. Ils mettent en évidence qu'une proportion élevée du carbone se trouve dans les AHP sous Eucalyptus, ce qui peut être lié à l'abondance de produits phénoliques dans

Figure 4. Caractérisation des fractions légères du sol 0-1cm par le fractionnement chimique de l'humus

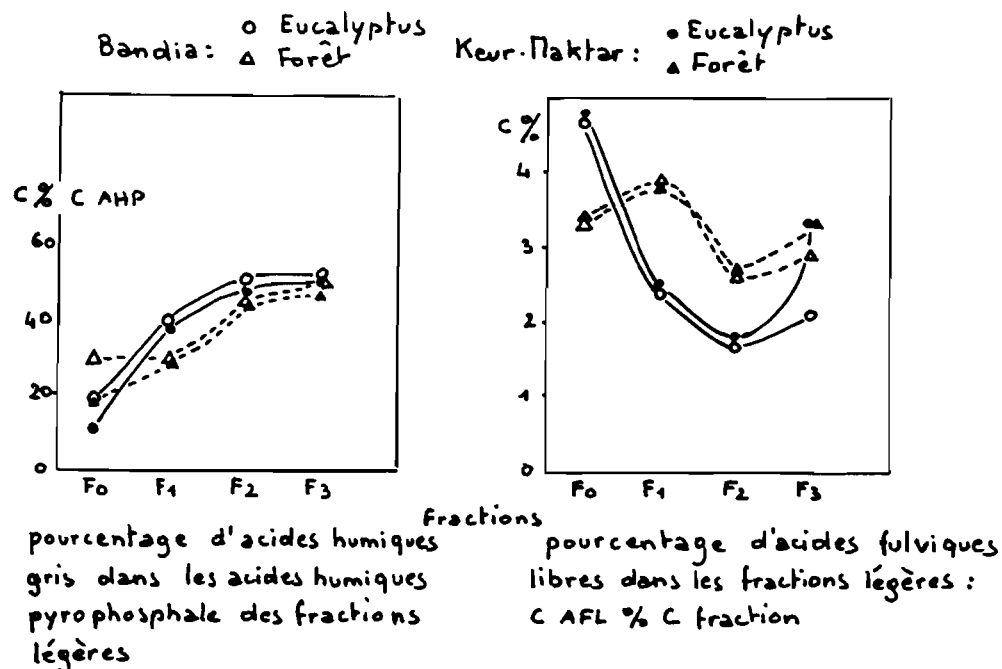
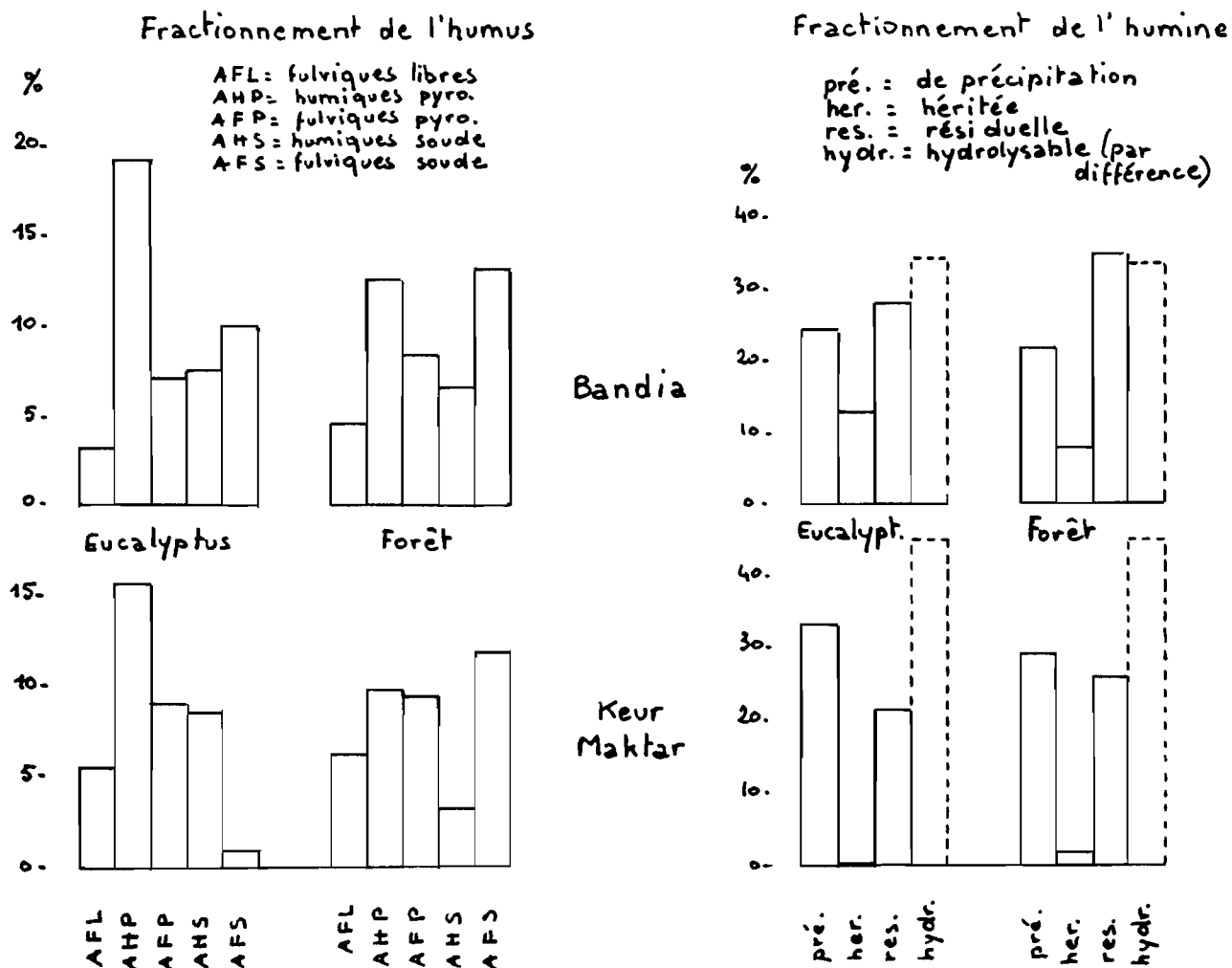


Figure 5. Caractérisation de la fraction argile-limons par le fractionnement chimique de l'humus. sol 0-1 cm



la litière. Les AFS, considérés comme précurseurs des acides humiques sont par contre plus abondants sous forêt.

Les pourcentages d'acides gris sont indiqués ci-dessous :

	Bandia		Keur Maktar	
	Eu	Forêt	Eu	Forêt
dans AHP	68	59	57	55
dans AHS	54	62	60	73

Le pourcentage de carbone se trouvant dans l'humine est peu variable, et les fractions séparées dans l'humine ne diffèrent pas essentiellement entre Eucalyptus et forêt (figure 5). La principale différence s'observe entre sol sableux et argileux : l'humine héritée disparaît presque complètement de la fraction F4 dans le sol sableux au profit de l'humine hydrolysable.

Les résultats des fractionnements chimiques de l'humus sont difficiles à interpréter, d'autant plus qu'ils concernent un seul échantillon par situation. Ils vont cependant dans le sens d'une différenciation des caractéristiques sous Eucalyptus par rapport à l'humus de forêt ; l'ensemble des observations concernant les sols sous Eucalyptus montre une plus grande importance de l'humification par voie soluble.

3 - Les matières organiques dans l'horizon 0-10 cm

Les prélèvements faits à la tarière sur dix emplacements (tableaux 2 et 3) montrent que l'influence du changement de végétation sur la teneur en carbone ne se fait sentir que dans les dix premiers centimètres du sol. A Keur Maktar, les différences observées en profondeur sont au moins en partie liées à une différence de teneur en argile liée à l'hétérogénéité du site.

La différence de teneur en carbone total entre forêt et plantation dans l'horizon 0-10 cm est significative. Les travaux culturaux au moment de la plantation peuvent être en partie responsables de la disparition de la matière organique de surface. Cependant, les résultats obtenus ici montrent que le stock ne se reconstitue pas facilement malgré une abondante litière. Des mesures faites dans d'autres sites ont permis de comparer l'horizon 0-10 cm dans diverses espèces plantées dans les mêmes conditions : à Bambey, on observe une teneur en carbone de $3,6 \text{ }^{\circ}/_{\text{‰}}$ sous Eucalyptus et $8,6 \text{ }^{\circ}/_{\text{‰}}$ sous Prosopis juliflora ; à Koutal, on a $7 \text{ }^{\circ}/_{\text{‰}}$ sous Eucalyptus et $8,7 \text{ }^{\circ}/_{\text{‰}}$ sous Neem. Dans ces deux cas, la plus faible valeur observée sous Eucalyptus est à imputer à l'effet de la litière.

Les taux de carbone minéralisable sont identiques sous forêt et plantation. Par contre, il est remarquable de constater que s'il existe une corrélation significative entre carbone minéralisable et total sous forêt, cette corrélation n'existe pas sous Eucalyptus. Dans ce dernier cas, une partie de la matière organique provient de la végétation forestière initiale

et représente un stock relativement stable, et une autre partie provient de la litière d'Eucalyptus et serait plus facilement dégradable. Ces deux origines étant quantitativement indépendantes expliqueraient cette absence de corrélation.

Tableau 13 Carbone total (°/° du poids du sol) et carbone minéralisable
(% du C total) dans le sol 0-10 cm : moyennes de dix répétitions
et écart type

		C °/°	C-CO ₂ %	Corrélation
Bandia	Eucalyptus	8,2 (0,3)	3,4 (0,2)	N.S.
	forêt	13,7 (0,5)	3,7 (0,2)	0,72
Keur Maktar	Eucalyptus	7,7 (0,6)	4,8 (0,3)	N.S.
	forêt	15,8 (0,3)	4,2 (0,1)	0,62

4 - Le rôle de la strate herbacée

La strate herbacée est souvent très développée sous les plantations d'Eucalyptus jusqu'à dix ans ou plus. Elle pose certains problèmes, entrant en concurrence avec les arbres pour l'approvisionnement en eau et en sels minéraux, et la tendance des forestiers est d'essayer de la supprimer.

Compte tenu des observations faites sur les litières d'Eucalyptus, il est intéressant d'évaluer la participation de la strate herbacée à la formation et la conservation du stock d'humus. Les observations sur la litière herbacée vont dans le sens d'une réponse négative, mais des observations directes sont nécessaires.

a) - Observations sur des traitements de désherbage

Dans la forêt de Bayote (Casamance), différents traitements de la strate herbacée ont été faits par le CNRF. On a retenu ici les deux extrêmes, suppression complète des herbes dès leur apparition et aussi souvent que nécessaire ou bien un seul désherbage en fin de saison. Ces traitements ayant rapidement donné des résultats concluants sur la croissance des arbres ont été arrêtés après deux ans, ce qui est peu pour espérer une influence sur le stock organique.

Des prélèvements ont été faits en avril 1984. Les traitements faits en 1981 et 1982 avaient encore un effet. On a prélevé dans trois parcelles par traitement les horizons 0-1 cm et 0-10 cm, et séparé les fractions suivantes :

F1 + F2 0,2 à 4 mm

F3 0,05 à 0,2 mm

F4 < 0,05 mm

Les résultats sont donnés au tableau 14.

Tableau 14 Répartition du carbone dans les fractions granulométriques du sol en fonction du désherbage, moyennes de trois répétitions (et écart type) en ‰ du sol (trois répétitions)

	Désherbage	F1 F2	F3	F4
0 - 1 cm	max.	7,9 (0,7)	1,7 (0,1)	4,3 (0,5)
	min.	5,1 (1,1)	1,8 (0,3)	4,6 (0,5)
0 - 10 cm	max.	2,1 (0,1)	1,0 (0,1)	3,8 (0,7)
	min.	2,9 (0,4)	1,4 (0,1)	4,5 (0,5)

Il est difficile d'avoir des résultats significatifs pour des variations faibles avec trois répétitions. Cependant, concernant l'horizon 0-10 cm, une nette tendance se dessine, avec une augmentation des fractions légères en présence des herbes. Les trois répétitions donnent pour l'ensemble des fractions légères : ($\% \text{ sol}$)

désherbage maximum	2,8	3,1	3,5
désherbage minimum	3,7	3,8	4,1

Le fait que la différence soit plus sensible dans l'horizon 0-10 cm que dans l'horizon 0-1 cm laisse penser que les racines de graminée peuvent jouer un rôle plus important que la litière aérienne des herbacées.

b) - Expérimentation in situ

Elle a été mise en place au centre CNRF de Dakar, sur un sol très sableux, dans une petite parcelle d'Eucalyptus. Des lots de 20 g de litière, soit feuilles d'Eucalyptus, soit parties aériennes d'Andropogon gayanus, ont été mis sur la surface du sol (environ 6 dm² par lot), et recouverts d'un grillage plastique à maille 1,5-2 mm. Les lots sont restés sept mois en place, arrosés régulièrement deux fois par semaine les trois premiers mois, puis les quatre premiers jours de chaque semaine pendant les quatre mois suivants.

Au bout de ce temps, les litières ont été prélevées avec le sol superficiel sur une profondeur de 1 cm en moyenne et les prélèvements regroupés par deux pour le fractionnement,

donnant quatre échantillons par type de litière. La quantité de carbone représentée par chaque fraction est donnée au tableau 15.

Tableau 15 Quantité de C, en ‰ du poids de sol, dans chaque fraction en fonction de l'apport de litière

Situation	Répétitions	F1	F2	F3	F4
avant apport	3	1,90	1,55	1,36	1,42
après apport Eucalyptus	4	6,21	2,46	1,94	1,77
après apport Andropogon	4	6,87	1,98	1,83	1,60

Les différences observées entre les traitements Eucalyptus et Andropogon ne sont pas statistiquement significatives étant donné la variabilité et le petit nombre de répétitions. La litière d'Andropogon participe autant ou peut-être plus que la litière d'Eucalyptus à enrichir le sol en fractions légères grossières, mais plutôt moins en fractions fines.

Concernant la fraction organominérale, la différence est plus significative (risque 10 % avec le test, Fischer-Yates-Terry).

Ces résultats seront complétés ultérieurement par les résultats d'une expérimentation avec des litières marquées. Néanmoins, il apparaît nécessaire pour avoir des données significatives, de reprendre ces essais avec de plus grands moyens, en particulier en personnel formé aux fractionnements, afin de pouvoir traiter un nombre suffisant de répétitions.

Il est par ailleurs nécessaire d'y inclure l'étude des racines de graminée.

Les indications obtenues permettent cependant de conclure que la strate herbacée participe au stockage de l'humus. Si cette participation est faible, elle n'en est pas moins utile dans les conditions de plantations puisque la litière d'Eucalyptus n'assure elle-même qu'une humification peu importante.

IV - LA MATIERE ORGANIQUE HYDROSOLUBLE

L'étude des litières a montré la richesse en hydrosolubles de l'Eucalyptus, et expérimentalement (rapport 1982) on a mis en évidence que cette matière organique n'était pas retenue par le sol sableux et peu par le sol sablo-argileux. Dans les conditions expérimentales, un tiers environ du carbone hydrosoluble est rapidement dégradé.

Pendant la saison des pluies 1983 on a recueilli les eaux de percolation dans le sol à 30 cm de profondeur, à Keur Maktar. (A Bandia, aucun percolat n'a été obtenu, à cause de l'insuffisance des précipitations). Les eaux étaient peu chargées en matière organique : sous Eucalyptus, la teneur en carbone des percolats était de 0,14 mg/ml à la première percolation de la saison, et a diminué jusqu'à 0,06 mg/ml à la fin de la saison des pluies. Cela représente environ 20 kg/ha alors que la quantité de carbone hydrosoluble représentée par le stock de litières présent en début de saison des pluies est de l'ordre de 200 kg/ha. Environ 10 % seulement serait entraîné en profondeur. Cela représente une faible proportion mais la pluviométrie de 1983 a été particulièrement faible.

Les eaux de pluie, outre leur rôle dans le transport des éléments minéraux et de la matière organique jouent un rôle dans les transferts d'acidité. Les pH mesurés sur les eaux en 1983 figurent au tableau 16. Sous Eucalyptus, les eaux de pluvioléssivage sont de plus en plus acides au cours de la

saison des pluies. Mais la percolation dans le sol diminue l'acidité de l'eau, et il y a donc acidification du sol. Malheureusement, là encore, la faible pluviométrie n'a permis qu'un nombre limité de mesures.

Enfin, on a pu observer que les percolats recueillis sous Eucalyptus contenaient des matières en suspension, qui n'ont pas été déterminées, alors que les percolats recueillis sous forêt étaient limpides.

Tableau 16 pH des eaux à Keur Maktar

date	21-7	18-8	1-9	15-9	28-9	18-8
découvert	7,1	6,0	6,8	7,1	6,6	-
Eucalyptus						
pluie	5,6	-	5,5	4,8	4,8	4,3
Lysimètre 30 cm	6,0	7,2	6,5	-	7,0	-
Lysimètre 60 cm	-	-	7,2	-	-	-
Forêt						
pluie	5,9	6,3	6,1	5,9	5,8	6,6
Lysimètre 30 cm	7,3	7,4	-	-	-	-

En conclusion, on peut considérer qu'une partie importante du carbone hydrosoluble de la litière d'Eucalyptus est minéralisée, mais qu'il y a quand même migration en profondeur dans les sols sableux. Le rôle qualitatif des circulations de matière organique par les eaux dans le système est certainement important, en particulier dans l'acidification et la mobilisation du fer (ELLIS, 1971) et serait à préciser, dans les conditions écologiques du Sénégal, par des études approfondies.

V - CONCLUSION

Les processus de transformation de la litière d'Eucalyptus camaldulensis au cours de son incorporation au sol réunissent un certain nombre de caractères (humification par voie soluble privilégiée, biodégradation des fractions légères et hydrosolubles, faible fixation de ces dernières sur les argiles) dont la conséquence est un sol superficiel pauvre en matières légères fines et en matière organique liée aux argiles. (POCHON et al. (1959) ont montré que la pauvreté en matière organique du sol superficiel sous cette espèce était liée à un déséquilibre de la microflore tellurique : très grande activité des cellulolytiques aérobies et absence de fixateurs d'azote. Ces auteurs en rendent responsables les conditions microclimatiques liées au faible ombrage sous Eucalyptus. Effectivement, les autres espèces étudiées ici, en particulier l'Acacia seyal, le Prosopis, le Neem, ont en saison des pluies une ombre dense.

Cependant, les caractères de la litière d'Eucalyptus ont vraisemblablement un rôle important : sa teneur en essences et terpenes tout à fait particulière (THIOMBANO, 1984), en produits phénoliques, en produits hydrosolubles acides, sont des facteurs agissant sur l'activité biologique. Ils opposent l'Eucalyptus et certains niaoulis à d'autres espèces pouvant être plantées dans cette zone.

DEUXIEME PARTIE : LA PHASE EDAPHIQUE DU CYCLE DE L'AZOTE

I - INTRODUCTION

En zone intertropicale les sols sont généralement pauvres en azote. La correction de cette pauvreté pour les besoins agronomiques a fait et fait encore l'objet de nombreuses recherches.

L'établissement de plantations forestières est confronté également à ce problème, et ce d'autant plus que les apports d'engrais n'y sont généralement pas possibles pour des raisons de rentabilité économique.

Les plantations d'Eucalyptus camaldulensis étudiées ici ont été établies à la place de peuplements naturels à Acacia seyal et bénéficient au départ d'un sol relativement riche en azote. Mais le maintien d'une nutrition azotée correcte dépendra de l'équilibre entre les différents processus microbiologiques dont la minéralisation nette est la résultante, ainsi que de processus physiques comme la lixiviation.

Les méthodes utilisées ici sont les mêmes que celles qui ont été utilisées précédemment (BERNHARD-REVERSAT, 1981) en ce qui concerne les dosages d'azote, les incubations in situ en tubes à fond grillagé, les incubations in vitro. Les protocoles expérimentaux seront exposés avec les résultats.

II - L'AZOTE TOTAL ET L'AZOTE MINERALISABLE

Les teneurs moyennes en azote du sol ont été calculées sur dix profils et sont données aux tableaux 2 et 3. Comme pour le carbone, on observe des teneurs plus élevées à Bandia qu'à Keur Maktar. L'appauvrissement du sol de surface (0-10 cm) sous Eucalyptus par rapport au sol de forêt est également très net, et significatif.

La quantité d'azote minéralisable a été mesurée pour les horizons 0-10 cm et 10-20 cm par des incubations de trois semaines à 32°. Tout l'azote minéral produit est sous forme nitrrique. Les résultats (tableau 17) ont montré une variabilité assez grande. Le taux de minéralisation est le même sous Eucalyptus et sous forêt dans le sol de Bandia, soit 2,7 % de l'azote total. Les sols de Keur Maktar montrent des taux de minéralisation significativement plus faibles sous Eucalyptus que sous forêt dans les deux horizons considérés. Des mesures de l'azote minéralisable ont également été faites sur l'horizon 0-10 cm au cours de la saison des pluies et ont montré à Bandia un taux de minéralisation de 2,6 % sous Eucalyptus, significativement différent des 3,2 % sous forêt ; à Keur Maktar, les valeurs respectives de 2,2 et 3,5 % sont également significatives. Ainsi un effet dépressif de la plantation d'Eucalyptus sur la minéralisation de l'azote est mis en évidence.

La répartition de l'azote selon les fractions granulométriques a été étudiée sur l'horizon 0-10 cm. Sous Acacia, elle

est la même que la répartition du carbone, le rapport C/N ne variant pas beaucoup ; le carbone et l'azote sont plus ou moins également distribués dans les trois fractions considérées.

Sous Eucalyptus, la fraction argile plus limons contient une grande partie de l'azote (tableau 18).

Tableau 17 N minéralisé en trois semaines à 32°. Moyennes de dix répétitions
(et écart type de la moyenne)

	Bandia				Keur Maktar			
	Eucalyptus g/g sol %N total		forêt g/g sol % N total		Eucalyptus g/g sol % N total		forêt g/g sol % N total	
0-10 cm	15,1 (1,9)	2,7 (0,5)	29,0 (3,8)	2,7 (0,2)	11,2 (1,5)	2,3 (0,3)	39,9 (7,6)	3,4 (0,5)
10-20 cm	4,8 (0,7)	1,1 (0,4)	4,7 (0,6)	1,1 (0,4)	0,9 (0,4)	0,4 (0,2)	4,1 (1,0)	1,1 (0,2)

Tableau 18 Répartition de C et N dans les fractions granulométriques de
l'horizon 0-10 cm du sol (moyennes de deux répétitions)

		% du C et N total						C ‰ sol total	N ‰ sol total
		0,2 - 2 mm C N		0,05-0,2 mm C N		inf. à 0,05 mm C N			
BA	Eucalyptus	21	15	20	14	59	71	9,7	0,59
	forêt	34	31	24	24	42	45	19,1	1,45
KM	Eucalyptus	33	25	24	17	62	58	7,3	0,38
	forêt	43	42	25	25	30	33	19,1	1,22

La répartition de l'azote minéralisable dans les fractions a été étudiée précédemment dans la matière organique de surface (première partie). On arrive à des conclusions semblables en ce qui concerne l'horizon 0-10 cm : sous Eucalyptus, il y a peu de minéralisation nette dans les fractions grossières, et la plus grande part de l'azote minéral disponible est fournie par la fraction organominérale (tableau 19).

Tableau 19 Répartition de l'azote minéralisable dans les fractions granulométriques de l'horizon 0-10 cm du sol, en pourcentage de la minéralisation totale (moyenne de deux répartitions)

		0,2 - 2 mm	0,05 - 0,2 mm	0,05 mm
BA	Eucalyptus	14	13	73
	forêt	33	15	52
KM	Eucalyptus	2	19	79
	forêt	33	21	46

III - MINERALISATION DE L'AZOTE IN SITU

La minéralisation de l'azote in situ a été mesurée en 1980, 1981, 1982 dans l'horizon 0-10 cm. La première année, quatre répétitions se sont avérées insuffisantes et ont donné des résultats peu fiables ; les années suivantes, l'échantillon initial a été fait avec dix prélèvements et réparti dans huit tubes sur le terrain. les résultats sont donnés aux figures 6 et 7. L'azote est essentiellement produit sous forme nitrique.

1 - Site de Bandia

La minéralisation est plus faible en plantation qu'en forêt, en partie parce que l'azote total y est moins abondant, et en partie parce que le taux de minéralisation y est plus faible. La minéralisation cumulée pour la totalité de la saison des pluies, exprimée en pourcentage de l'azote total dans les valeurs suivantes :

	plantation	forêt
1981	2,6	3,3
1982	3,6	5,6

Sous forêt, le maximum d'intensité est observé en début de saison de pluies, suivi d'une diminution. Sous Eucalyptus, la distribution est variable en fonction des pluies.

2 - Site de Keur Maktar

Comme à Bandia, la minéralisation est plus faible sous Eucalyptus, la différence étant prononcée ; les taux cumulés, en pourcentage de l'azote total, sont les suivants :

	plantation	forêt
1981	4,1	10,7
1982	3,5	7,4

En forêt, la minéralisation reste importante toute la saison tant que le sol est humide. Sous Eucalyptus, la minéralisation démarre bien, puis diminue fortement jusqu'à s'annuler en 1982 et reprend en fin de saison. On a pu observer que la production d'azote minérale cessait au moment de la croissance de la strate graminéenne qui est dense dans cette parcelle, et reprenait quand cette dernière était coupée ou séchait naturellement. D'autre part, on a aussi observé qu'en 1980, les mesures ayant été faites dans une autre parcelle où la strate gramineuse était très peu développée, l'azote minéral a été produit régulièrement pendant toute la période pluvieuse. On est donc conduit à envisager un effet dépressif des graminées, dont les causes sont difficiles à établir. En effet, lorsque le sol de plantation est rapporté au laboratoire, séché à l'air et mis en incubation in vitro après réhumidification, la minéralisation y est normale, comme l'indique le tableau suivant (20).

Figure 6. Minéralisation de l'azote in situ, exprimée en gain d'azote minéral par g. de sol pour 4 semaines. sol 0-10 cm
 o—o Eucalyptus +----+ Forêt

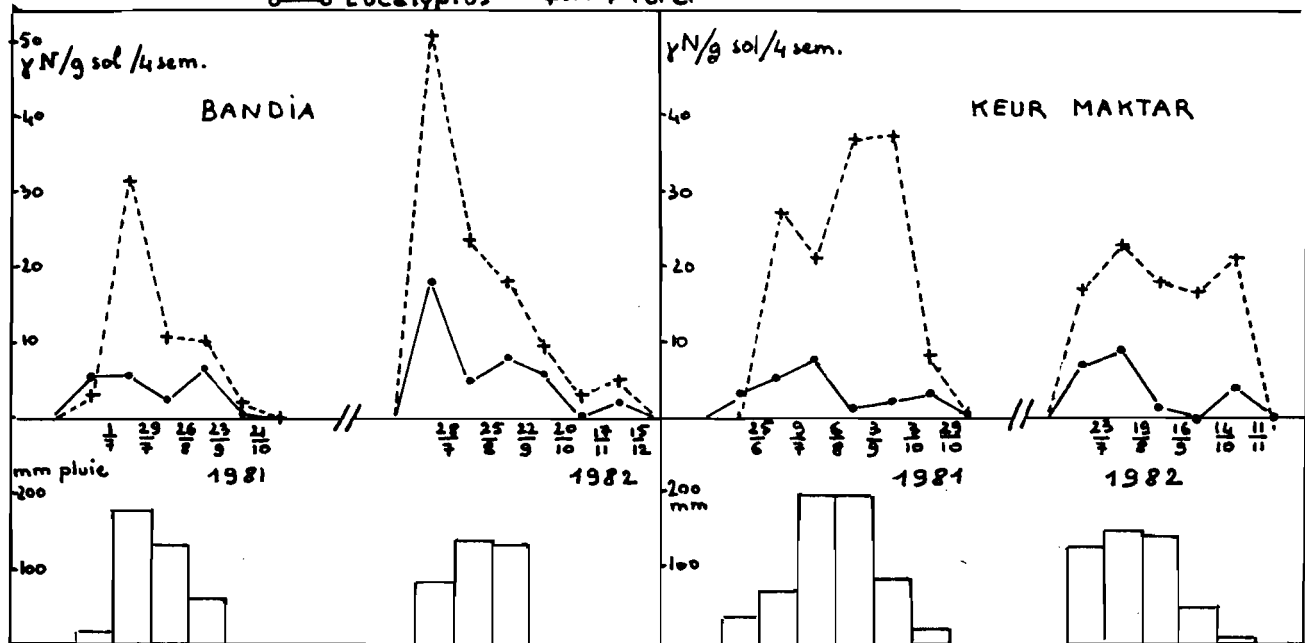


Figure 7. Taux de minéralisation de l'azote en pourcentage de l'azote total. o—o Eucalyptus +----+ Forêt

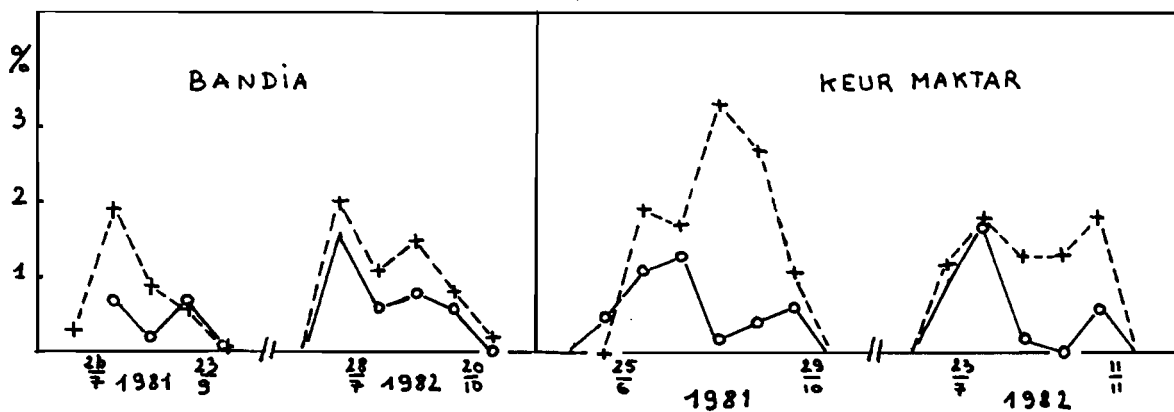


Figure 8. effet de la strate herbacée sur la minéralisation de l'azote in situ. sol 0-10 cm

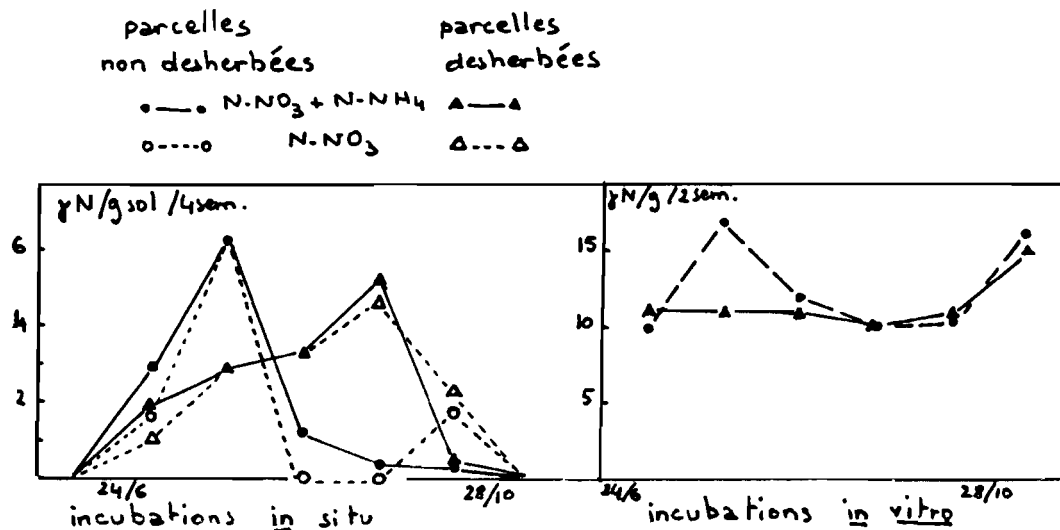


Tableau 20 Gain en N minéral (γ N/g sol) en quatre semaines in situ et en
trois semaines d'incubation in vitro pour le même échantillon
de sol

date	23.7	19.8	16.9	14.10
<u>in situ</u>	2,2	0	0,5	5,4
<u>in vitro</u>	12,1	20,9	20,8	16,6

3 - Expérimentation in situ

Pour confirmer le rôle des graminées, pendant la saison des pluies 1983, une expérience a été faite in situ. Trois petites parcelles d'environ 7 x 10 m ont été désherbées régulièrement au fur et à mesure que les pousses apparaissaient. La minéralisation a été mesurée in situ dans ces trois parcelles avec deux répétitions par parcelles, et comparée avec trois parcelles non désherbées.

Les résultats (figure 8) montrent une minéralisation globalement faible, probablement à cause du faible niveau des précipitations cette année-là. Néanmoins, le rôle dépressif des graminées est nettement mis en évidence, avec une minéralisation nulle au moment où la strate herbacée atteint son plein développement. Là encore, les sols rapportés au laboratoire, séchés et incubés in vitro, ont montré une minéralisation importante.

L'interprétation de ces résultats est difficile, et on en est réduit aux hypothèses. Quelques expériences in vitro ont

été faites pour essayer d'éclaircir le problème. Si on a pu observer un effet dépressif aussi bien des feuilles d'Eucalyptus que des litières d'Andropogon ou des racines de cette graminée, il n'a pas été possible de déterminer la part due à l'immobilisation de celle qui serait due à une inhibition (annexe 3).

Lors de ces expérimentations au laboratoire, les différences observées entre le sol de Bandia et celui de Keur Maktar sont en accord avec les observations faites in situ : les produits responsables de l'inhibition sont vraisemblablement partiellement inactivés par fixation sur les argiles du sol de Bandia où l'effet dépressif est sensiblement plus faible.

IV - CONCLUSION

Les observations montrent que plusieurs phénomènes interviennent dont le résultat est une diminution de la production d'azote minéral sous Eucalyptus.

Il y a tout d'abord un effet de la litière d'Eucalyptus. L'azote de la litière est peu minéralisée au cours de sa décomposition, et ne devient facilement minéralisable que dans la fraction liée aux limons et argiles de la matière organique. Cette fraction constitue le stock d'azote minéralisable du sol et son importance varie en fonction de la teneur en argile. On a déjà observé une situation semblable dans le milieu pauvre en azote qu'est la savane sahélienne du nord-Sénégal (BERNHARD-REVERSAT, 1981). Des substances organiques à effet antibiotique ont été mises en évidence par POCHON et al. (1959), del MORAL et al. (1969) mais leur action vis-à-vis de la minéralisation de l'azote n'a pas été étudiée. Un effet de tannage est également possible.

On a également mis en évidence l'effet dépressif dû aux graminées. Celles-ci se développent en abondance sous les jeunes plantations dans les conditions climatiques actuelles. Il semble que l'abondance relative des graminées et des dicotylédones soit dépendante de la répartition des pluies. Pendant la période des mesures, on a observé jusqu'à plus de trois tonnes de matière sèche par hectare pour la partie aérienne.

Dans les sols sableux, le blocage de la production d'azote minéral peut être complet pendant deux mois, et si la saison

des pluies s'arrête tôt, la reprise est peu importante et seule la production d'azote minérale du début de la saison des pluies est disponible pour la végétation. La concurrence arbres/graminées risque alors d'être très défavorable aux arbres puisque l'azote est minéralisé principalement dans les premiers dix centimètres de sol où se trouve la plus grande part des racines de graminées (1,7 t/ha dans l'horizon 0-10 cm pour 0,3 t/ha dans l'horizon 10-20 cm).

Dans ces conditions, l'aménagement de la strate herbacée par un désherbage avant la fin de la saison des pluies mettrait à la disposition des arbres l'azote minéral nécessaire.

Le mécanisme de l'effet des graminées n'a pas été élucidé ; l'hypothèse d'une immobilisation liée à un turn-over rapide des racines se heurte à la disparition de cet effet au laboratoire après séchage. L'hypothèse d'une action antibiotique d'exudats racinaires ou de microorganismes liés à la rhizosphère vis-à-vis de la microflore ammonifiante est à étudier.

CONCLUSIONS GENERALES

On peut résumer les conclusions auxquelles on a abouti au cours de ce travail, dans l'état actuel des recherches.

L'Eucalyptus seul a pour effet d'appauvrir le sol en matière organique. Cette observation a été faite par les pédologues, et elle est perçue également par le savoir populaire. On a montré ici comment l'Eucalyptus créait des conditions défavorables à la constitution d'un stock d'humus. Les sols de plantations étant souvent des sols initialement pauvres, la dégradation de la matière organique pourra s'accompagner d'un appauvrissement en éléments minéraux, de modifications de la structure, etc. Indépendamment d'autres critères, on a mis en évidence que des espèces comme Azadirachta indica (Neem) et Prosopis juliflora sont plus appropriées pour la conservation du sol que l'Eucalyptus, et pourraient le remplacer comme arbres de plantation sur les sols fragiles et en particulier les sols très sableux.

Les plantations mixtes pourraient être une solution moyenne, en associant à l'Eucalyptus qui occupe peu l'espace aérien une espèce faisant de l'ombre et ayant une bonne litière. Cependant, les problèmes de sylviculture posés par de telles plantations ne sont pas résolus et peu d'essais ont été faits.

L'exportation d'éléments minéraux liée à une exploitation fréquente peut être importante par rapport aux réserves du sol, en particulier en cations. Le maintien sur place des parties

de l'arbre non utilisable est indispensable pour minimiser les pertes. Des carences en oligo-éléments peuvent également apparaître (ZECH et al.,). L'Eucalyptus accélérant la redistribution en surface des cations les met à la disposition des graminées qui se développent abondamment et les immobilisent efficacement. Un aménagement visant à limiter la croissance de la couverture herbacée pourrait être utile, et en tout état de cause l'exportation de celle-ci appauvrirait le système.

Le développement excessif d'une strate herbacée graminéenne a également pour effet de bloquer la minéralisation de l'azote pendant la saison des pluies et de concurrencer les arbres pour l'azote minéral disponible (1). Par ailleurs, elle contribue à la formation du stock de matière organique du sol, même si cette contribution est faible. L'aménagement de la strate herbacée doit être faite en conséquence : il n'est pas souhaitable de la supprimer mais son développement doit être contrôlé soit par un désherbage avant la fin des pluies soit par un autre facteur limitant. L'association avec le pâturage serait une solution sans doute intéressante permettant la restitution sur place de la matière organique et des éléments minéraux et la limitation du développement des herbes.

(1) Sur les sols sableux de Keur Maktar, il est très possible que cette inhibition de la minéralisation de l'azote ait contribué au dépérissement de certaines parcelles où la biomasse herbacée a dépassé 3 t/ha. La teneur moyenne de la litière de feuilles d'Eucalyptus a effectivement sensiblement baissé en 1982-1983 dans la parcelle 1974.

Enfin, une autre possibilité qui n'a été que très peu explorée est de remplacer la strate herbacée par une plante de couverture cultivée, permettant soit le pâturage soit une exportation partielle dans le cas de plantes alimentaires, qui pourrait être compensée par des engrais. Un vaste champ de recherches est ouvert pour la mise au point de systèmes appropriés.

La comparaison de deux types de sol a montré que le sol sablo-argileux de Bandia était plus apte à supporter une espèce telle que l'Eucalyptus que le sol sableux de Keur Maktar, la présence d'argile minimisant certains effets néfastes.

Les problèmes liés à la mobilisation d'éléments minéraux, en particulier du fer par les eaux sous Eucalyptus, n'ont pas été abordés ici. Ils ont été étudiés par ELLIS (1981) et ENRIGHT (1978) sous peuplements naturels en Australie, et mis en évidence en Afrique sahélienne par THIOMBANO (1984).

En conclusion, l'Eucalyptus a actuellement une mauvaise réputation ; mais il est excessif de lui attribuer le pouvoir de stériliser totalement le sol et de penser qu'il va laisser place au désert dans un proche avenir... L'observation de quelques plantations anciennes montre qu'un certain équilibre s'établit, lié à une forte production de litière. Cependant, cet équilibre est fragile. D'autre part, il ne peut s'établir dans les plantations à courte révolution pour lesquelles la plus grande prudence s'impose dans le choix des espèces et de l'aménagement.

DOCUMENTS CITES

- BERNHARD-REVERSAT, F. 1981. Biochemical cycle of nitrogen in a semi-arid savanna. *Oikos*, 38, 321-332.
- . 1981. Décomposition et incorporation à la matière organique du sol de la litière d'Eucalyptus camaldulensis et de quelques autres essences. Rapport ORSTOM, Dakar, multigr., 15 p.
- . 1982. id. II. Evolution des substances solubles de la litière dans le sol. III. Fractionnement de la matière organique du sol superficiel. Rapport ORSTOM, Dakar, multigr., 32 p.
- . 1983. Les cycles biochimiques des éléments minéraux en plantations d'Eucalyptus camaldulensis et en forêt naturelle à Acacia seyal. Rapport ORSTOM, Dakar, multigr., 25 p.
- DABIN, B. 1980-1981. Les matières organiques dans les sols tropicaux normalement drainés. Cah. ORSTOM, Ser. Pédol., 18, 197-215.
- ELLIS, R.C. 1971. The mobilisation of iron by extracts of *Eucalyptus* leaf litter. *J. Soil Sci.*, 22, 8-22.
- ENRIGHT, N.J. 1978. The interrelationship between plant species distribution and properties of soils undergoing podzolisation in a coastal area of S.W. Australia. *Austr. J. Ecol.*, 3, 389-401.
- JAMET, R. 1975. Evolution des principales caractéristiques des sols de reboisement de Loudima (Congo). Cah. ORSTOM, Ser. Pédol., 13, 235-253.

- MBEMBA-MAKIZA, A. 1984. Contribution à l'évolution de la matière organique dans différents écosystèmes du Congo. Thèse, Nancy. Multigr., 182 p.
- METRO, A.E. et G. de BEAUCORPS. 1958. Influence des peuplements d'Eucalyptus sur l'évolution des sols sablonneux du Rharb. Fertilité n° 4, 1-13.
- MORAL, R. del, et C.H. MULLER. 1969. The allelopathic effect of Eucalyptus camaldulensis. Amer. Midl. Natur., 83, 254-282.
- O'CONNEL, 1983
- ORSTOM, SCC, Laboratoire Commun de Chimie. Extraction et dosage de la matière humique dans les sols. Multigr., 17 p.
- POCHON, J., H. de BARJAC et FAIVRE-AMIOT. 1959. L'influence des plantations d'Eucalyptus au Maroc sur la microflore et l'humus du sol. Ann. Inst. Pasteur, 97, 403-406.
- SAUERBECK, D. et F. FUHR. 1968. Alkali extraction and fractionation of labelled plant material before and after partial decomposition. A contribution to technical problems in humification studies. In : Isotopes and radiations in soil organic matter studies. Coll. IAEA, Vienne, 1968, 3-11.
- SAUVAGEOT, A. et KNOCKAERT, C. 1980. Teneurs en éléments minéraux dans les feuilles, le bois et l'écorce de plusieurs origines d'Eucalyptus camaldulensis. Evaluation de la quantité d'éléments minéraux exportés au cours d'une coupe. Ann. Rech. For. Maroc, 20, 87-112.

- SWIFT, M.J., O.W. HEAL et J.M. ANDERSON. 1979. Decomposition in terrestrial ecosystems. Blackwell Scient. Publ., Oxford, 372 p.
- THIOMBANO, L. 1984. Première approche de l'influence du reboisement en Eucalyptus camaldulensis sur les sols de Gonsé (Haute-Volta). Thèse, Aix-Marseille III, Multigr., 142 p. plus annexes.
- WOODS, T.G. 1974. Field investigations on the decomposition of leaves of Eucalyptus delegatensis in relation to environmental factors. *Pedobiologia*, 14, 343-371.
- ZECH, W. et P. ed. WEINSTABEL. Location, state of nutrition and feed value of trees species important in forestry in Upper Volta. Plant Research and Development, 17, 42-60
- ZHIGUNOV, A.V. et V.N. SIMAKOV. 1978. Composition and properties of humic acids separated from decomposing plant residues. *Soviet Soil Sci.*, 9, 687-693.

ANNEXE 1

Décomposition de litières au laboratoire

quelques résultats complémentaires de ceux du premier rapport (1981) sont donnés ici.

Expérience 1

Le dispositif général a été exposé dans un précédent rapport (BERNHARD-REVERSAT, 1981). Dans des tubes en PVC à fond grillagé, de 56 mm de diamètre, on dépose 4 g de litière (poids sec air) sur 25 g de sol. Tous les 3 à 5 jours, on fait percoler 50 ml d'eau. L'incubation est faite à température ambiante (25 à 28°).

La quantité de C percolé au cours de l'incubation est montrée à la figure 1 (dans le texte). Les quantités totales après 27 jours sont :

Eucalyptus	164 mg
Acacia	88 mg
Prosopis	97 mg

Le C extractible est mesuré sur 2 g de litière et 50 ml de solution agités pendant une heure et centrifugés. La première extraction est faite avec de l'eau et la deuxième avec du pyrophosphate de sodium. Les quantités de C extraites sont données ici, en mg C/g litière :

	temps jours	eau	pyro
Eucalyptus	0	101	58
	28	21	36
	56	15	30
Acacia	0	55	67
	28	10	17
	56	7	16
Prosopis	0	80	39
	28	14	11
	56	7	8

Expérience 2

Le même protocole a été appliqué (avec 3 g de litière par tube). Le C extractible a été mesuré. Les résultats sont les suivants, en mg C/g litière :

	temps jours	eau	pyro
Eucalyptus	0	108	44
	32	31	50
Acacia	0	52	52
	32	15	31
Neem	0	74	36
	32	14	23
Niaouli	0	38	22
	32	6	10

Expérience 3

Avec un dispositif identique, l'incubation de 3 g de litière a été suivie par la mesure du dégagement de CO_2 : un circuit a été installé permettant la circulation continue de l'air qui passe dans un flacon-laveur contenant de la soude.

La figure 7 montre le taux de minéralisation du C au cours de l'incubation.

Les percolations d'eau faites tous les 3 à 5 jours ont donné au total après 9 jours les quantités de C lessivées suivantes :

Eucalyptus	95 mg
Prosopis	55 mg
Andropogon	15 mg
Blainvillea	10 mg

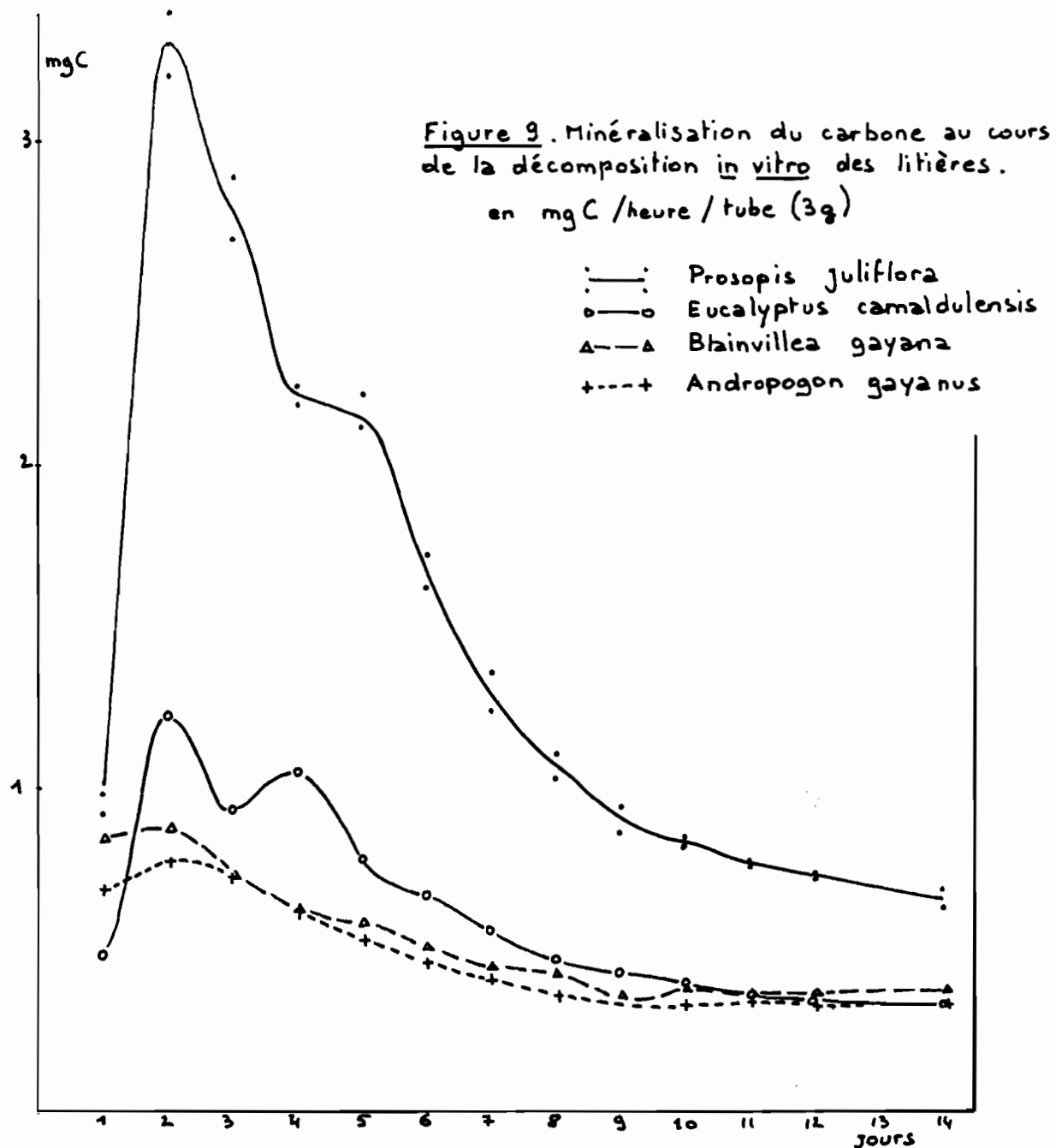
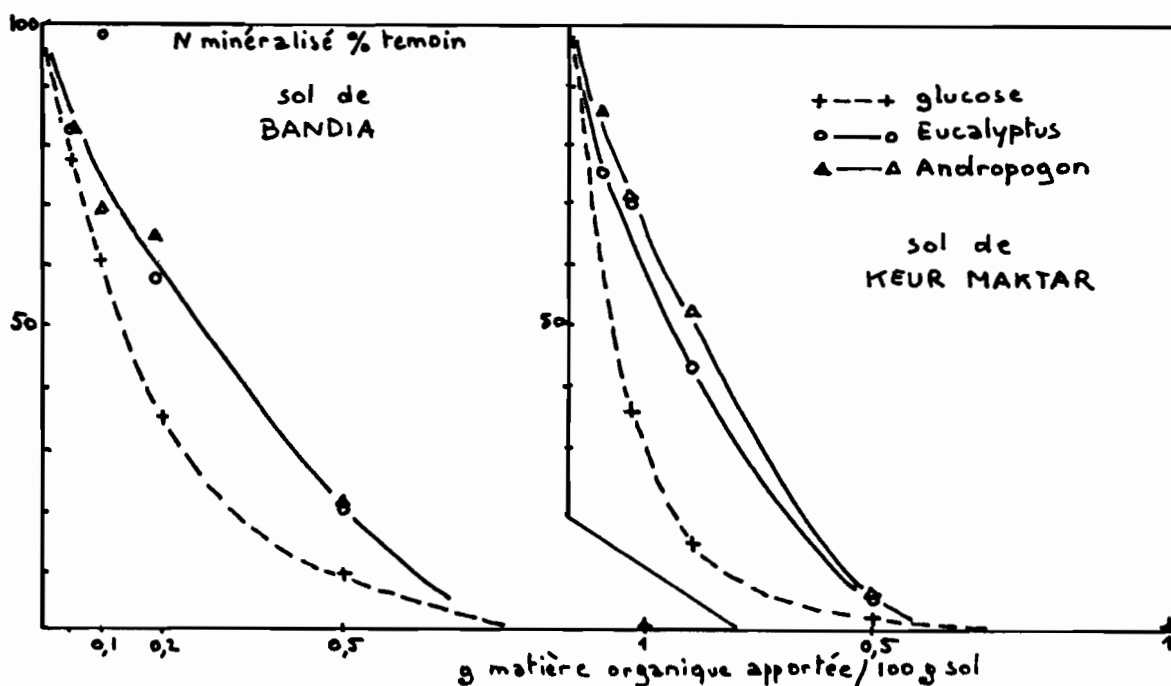


Figure 10. Effet de litières broyées sur la minéralisation de l'azote



ANNEXE 2

Répartition de l'humus dans les fractions granulométriques du sol

0-1 cm, en C % du C de la fraction

	fraction	AFL	AHP	AFP	AHS	AFS	HU
Bandia	F0	4,7	5,1	4,6			85
	F1	2,4	6,4	4,1			89
	Eucalyptus F2	1,7	10,4	4,0			69
	F3	2,1	12,4	3,2			81
	F4	3,1	19,1	7,3	7,6	10,8	47
	F0	3,3	3,8	3,1			84
	F1	3,9	5,6	5,4			86
	Forêt F2	2,6	8,7	5,6			70
	F3	2,9	10,5	5,3			67
	F4	4,5	12,6	8,4	6,6	13,1	42
K. Maktar	F0	4,8	3,8	4,3			81
	F1	2,5	2,8	5,6			90
	Eucalyptus F2	1,8	4,9	4,5			67
	F3	3,2	11,3	5,5			81
	F4	5,6	15,4	9,1	8,6	1,0	53
	F0	3,4	2,4	2,5			88
	F1	3,8	4,4	5,7			85
	Forêt F2	2,7	8,8	6,9			82
	F3	3,3	9,1	5,7			83
	F4	6,1	9,8	9,3	3,3	11,8	49

AFL : acides fulviques libres
AHP : acides humiques pyrophosphate
AFP : acides fulviques pyrophosphate

AHS : acides humiques soude
AFS : acides fulviques soude
HU : humine

ANNEXE 3

Etude in vitro de l'inhibition de la minéralisation de l'azote

Expérience 1

Dans un tube de PVC (diamètre 56 mm) à fond grillagé, on met 150 g de sol 0-10 cm prélevé sous forêt à Keur Maktar et humidifié. Quatre traitements, avec deux répétitions ont été faits

- A - témoin sans matière organique ajoutée
- B - apport de 4 g de feuilles d'Eucalyptus sur la surface du sol
- C - apport de 4 g de parties aériennes d'Andropogon gayanus sur la surface du sol
- D - apport de 3 g de racines d'Andropogon mélangées au sol

Dans chaque tube, on apporte 10 ml d'eau tous les 3 ou 4 jours, et s'il y a percolation, on recueille le percolat pour doser les nitrates. Après 17 jours, on a mesuré la production d'azote minéral (γ N/g de sol) :

- A - témoin : 45,8
- B - feuilles Eucalyptus : 13,9
- C - Andropogon, parties aériennes : 7,8
- D - Andropogon, racines : 5,0

Ces résultats peuvent s'expliquer par l'immobilisation de l'azote minéral formé due à l'apport de carbone organique. Les percolats de feuilles d'Eucalyptus sont plus riches en matière organique que ceux d'Andropogon, mais il s'agit de substances

moins facilement dégradables. Les racines d'Andropogon enfouies se montrent très efficaces pour inhiber la minéralisation nette au cours de la phase initiale de leur décomposition. Toutefois, les racines représentaient un apport de 2 % de matière organique, ce qui est beaucoup plus élevé que l'apport par les racines in situ (de l'ordre de 1 ‰).

Expérience 2

La figure 10 montre les quantités d'azote minéral produites au cours d'incubations de sol de Bandia ou Keur Maktar additionnées de doses croissantes de matière organique : glucose, litière de feuilles d'Eucalyptus broyée, racines d'Andropogon broyées. La courbe "glucose" correspond à l'immobilisation de l'azote minéral par l'activité biologique liée à la décomposition d'une substance facilement dégradable sans enrichissement en éléments minéraux. D'une part, la matière organique végétale apportée est moins dégradable que le glucose, ce qui explique une immobilisation moins importante, d'autre part, les courbes se rapprochant de la droite suggèrent une action inhibitrice chimique, mais qui n'est pas démontrée.

Les différences observées entre le sol de Bandia et de Keur Maktar aussi bien pour le glucose que pour le matériel végétal peuvent être dues à la protection d'une partie de la matière organique ou à son inactivation par fixation sur l'argile.