

5017



LES CYCLES BIOGEOCHIMIQUES DES ELEMENTS MINERAUX
EN PLANTATIONS D'EUCALYPTUS CAMALDULENSIS
ET EN FORET NATURELLE A ACACIA SEYAL

Franco BERNHARD-REVERSAT
Laboratoire d'Ecologie-Végétale
O R S T O M - Centre de Dakar

/ D é c e m b r e 1 9 8 3 /

Fonds Documentaire ORSTOM
Cote: BX16253 Ex: 1

BIBLIOTHEQUE
n° 5607 date 30 5 87
Cote: BX16253 Ex: 1

Fonds Documentaire ORSTOM



010016253

I - INTRODUCTION

Le remplacement de la végétation naturelle par une plantation forestière modifie l'équilibre établi entre la végétation et le sol, tant par des changements bioclimatiques que par les besoins en éléments minéraux des essences plantées, et par les apports au sol d'une matière organique quantitativement et qualitativement différente.

Les cycles biogéochimiques des éléments minéraux en milieu forestier présentent des caractères particuliers qui peuvent subir des modifications. Ce sont, entre autres, la concentration des éléments minéraux à la surface du sol au dépens des horizons profonds, le piégeage de ces éléments par une strate herbacée plus ou moins développée, l'immobilisation dans le bois d'une partie des éléments minéraux absorbés, et leur exportation au moment de l'exploitation. Tous ces processus dépendent de l'exploitation du sol par les racines, de la productivité biologique et de l'exigence en éléments minéraux de l'espèce concernée.

Une étude des cycles biogéochimiques a donc été entreprise en plantation d'Eucalyptus camaldulensis et en forêt naturelle à Acacia seyal. Ces études sont faites dans deux sites, Bandia et Keur Maktar, qui sont décrits par ailleurs, et diffèrent par leur sol et leur pluviométrie.

Un premier rapport en 1981 faisait état des données recueillies en un an de mesures. Une synthèse des résultats obtenus sur trois années est présentée ici.

Les parcelles étudiées ayant changé au cours des années de mesure, leur âge est indiqué ci-dessous (nombre de saisons de pluies, y compris celle de l'année considérée).

	1980	1981	1982	1983
Bandia	5	6	6	7
Keur Maktar	8	8	9	10

II - METHODES

1 - Les prélèvements sur le terrain

- Chute de litière

Dans chaque parcelle étudiée 10 cadres de 60 cm de côté (0,36 m²) sont répartis au hasard. Le fond est à grillage à maille de 1 à 1,5 mm environ. La litière d'arbres y est récoltée toutes les 2 semaines. Elle est triée en feuilles, fleurs et fruits, bois (1), écorces caduques, puis séchée à 80° et pesée. Les échantillons de feuilles sont réunis par 4 semaines pour l'analyse, les autres organes en 3 à 6 échantillons par an.

- Immobilisation d'éléments minéraux dans les arbres

A Keur maktar lors de l'exploitation de la parcelle 1973, des échantillons ont été prélevés sur les arbres, en même temps qu'étaient pesés les feuilles, les branches et le tronc (C. BAILLY, rapport CNRF, 1981). Les analyses ont porté sur 7 échantillons de feuilles, 5 de branches et 2 de troncs (1). Les résultats ont été rapportés au poids moyen de feuilles, branches et troncs à l'hectare. L'estimation de l'immobilisation ainsi faite donne un ordre de grandeur.

A Bandia il a été prélevé 11 échantillons de bois et 4 de feuilles. Seul le houppier total ayant été pesé le rapport feuilles/houppier total calculé à Keur Maktar a été utilisé, ainsi que le rapport teneur des branches/teneur du bois. Là aussi on obtient un ordre de grandeur de l'immobilisation et de l'exportation.

- Immobilisation dans la strate herbacée

En fin de saison des pluies (Octobre), les herbes sont coupées sur 7 à 10 surfaces de 1 m², séchées et pesées. Les échantillons de chaque surface sont analysés séparément. En 1981, un échantillonnage des racines a été fait à Keur Maktar en prélevant le sol dans un cylindre, à raison de deux prélèvements par surface échantillonnée, aux profondeurs 0-10 cm et 10-20 cm. Les racines ont été lavées à l'eau, séchées et pesées. Les échantillons réunis, les racines ont été triées en racines d'arbres et de graminées pour les échantillons de la plantation. en forêt les herbacées n'étant pas des graminées, la distinction morphologique n'était pas possible.

- Estimation des réserves du sol

Les analyses de sols ont été faites sur 10 à 18 profils prélevés à la tarière par parcelles. Les profondeurs prélevées sont : 0-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm et 40-60 cm.

- Eaux de pluie

Une dizaine de pluviomètres rectangulaires (10-50 cm) ont été placés dans chaque parcelle. Les eaux sont récoltées toutes les deux semaines et réunies par parcelles. Un pluviomètre classique est placé à découvert. Les eaux sont filtrées sur papier filtre, et analysées après minéralisation de N et P.

(1) Le bois est analysé avec son écorce.

2 - Méthodes d'analyses chimiques

Les analyses ont été faites par le Laboratoire Commun d'Analyses du Centre ORSTOM de Dakar, selon les méthodes suivantes :

- Azote : attaque Kjeldahl; dosage à l'auto-analyseur par le bleu d'indophenol.
- Phosphore : attaque nitrique, dosage à l'auto-analyseur du phosphomolybdate réduit par l'acide ascorbique.
- Calcium et Magnésium : dans les végétaux, attaque nitroperchlorique ou combustion ; dans les sols, formes échangeables extraites par percolation à l'acetate de sodium. dans les deux cas, dosage par spectrophotométrie d'absorption atomique.
- Potassium : même minéralisation ou extraction que ci-dessus. Dosage par spectrophotométrie d'émission de flamme.

III - LES ARBRES

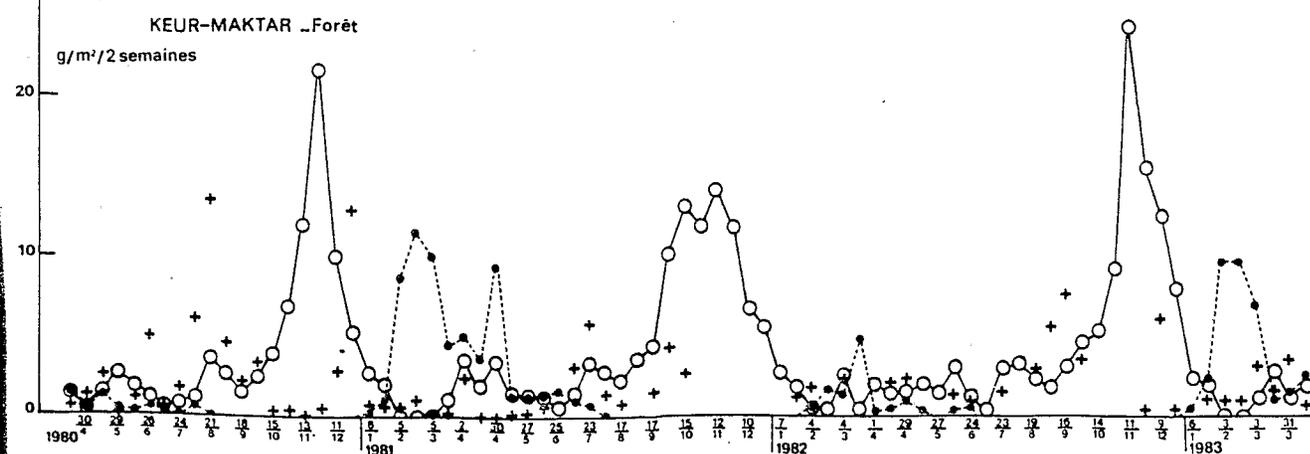
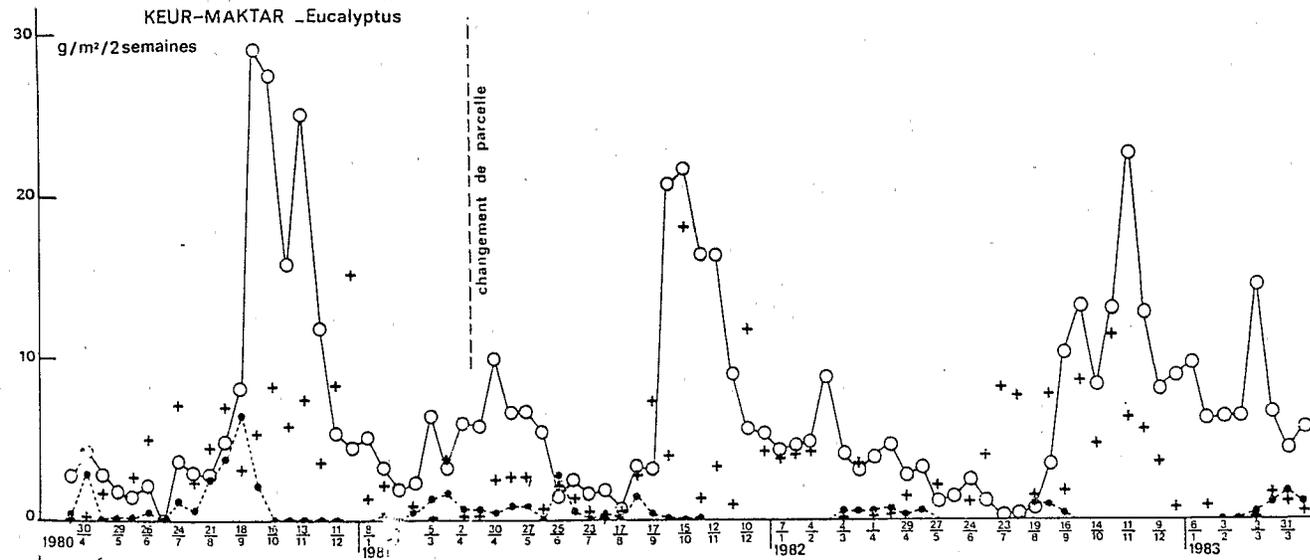
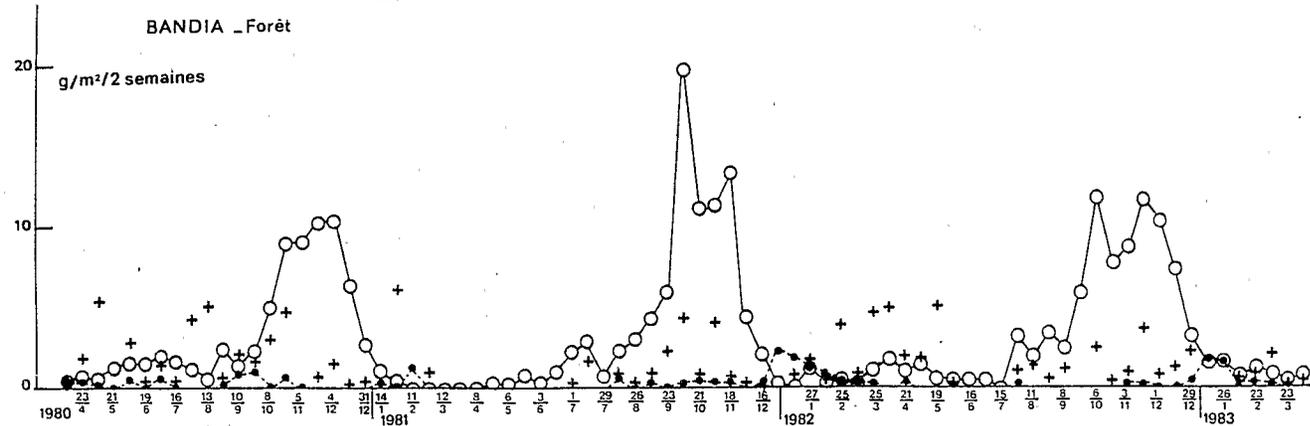
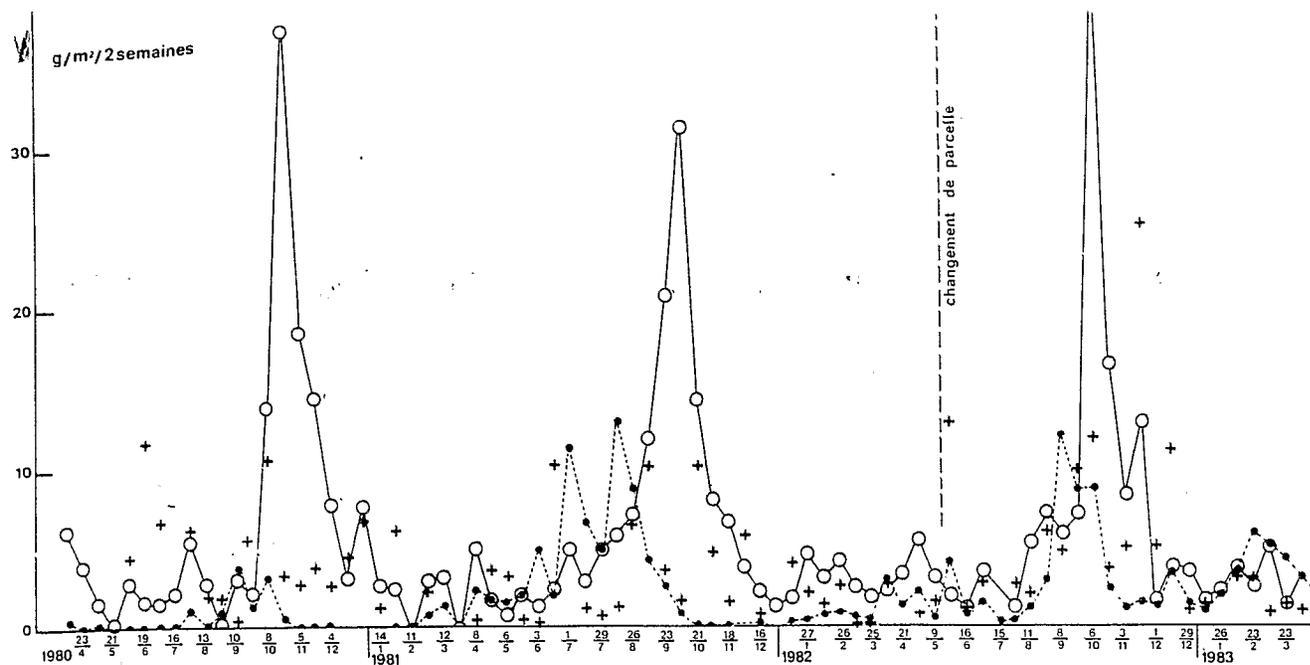
1 - Production de litière

La figure 1 donne les variations saisonnières de la chute de litière pendant 3 ans. Elle commence à la fin de la saison des pluies en forêt comme en plantation. L'identité des courbes dans les deux cas laisserait penser qu'il y a une influence climatique, mais il ne s'agit pas, à cette saison, d'un déficit hydrique dans le sol. Par contre, la deuxième chute qui se produit sous Eucalyptus à Keur Maktar entre Février et Mai selon l'année pourrait avoir un manque d'eau pour origine.

L'identité phénologique entre Acacia et Eucalyptus n'est qu'apparente. Les Acacia perdent toutes leurs feuilles en Octobre/Novembre, et elles ne sont que peu remplacées jusqu'à la saison des pluies suivante. Les Eucalyptus perdent une partie de leurs feuilles : le rapport de la chute annuelle de feuilles à la masse de feuilles sur l'arbre montrent que celles-ci vivent un an

Au Maroc, KNOCKAERT (1981) observe le même rythme phénologique de chute des feuilles en plantations d'Eucalyptus camaldulensis de 9 ans avec un pic étroit. POUPON (1972) en Tunisie observe une période de chute élevée de 3 mois donc sensiblement plus longue.

Le tableau 1 récapitule les quantités annuelles de litière récoltées. La variabilité interannuelle de la chute de feuilles d'Eucalyptus est remarquablement faible, alors que la production de feuilles d'Acacia est plus sensible aux variations des précipitations (production faible en 1980). Les



feuilles d'Eucalyptus représentent environ 60 % de la litière totale à Keur-Maktar. A Bandia, cette proportion peut descendre en dessous de 50 % lorsque la production de fruits est élevée (jusqu'à 24 %). La production de fleurs et fruits est très variable selon les années en plantation, comme en forêt, elle se situe en saison sèche pour l'Acacia, avec une faible production de fruits, et en saison des pluies pour l'Eucalyptus, avec peu de chute de fleurs. D'autre part la précision des mesures des organes autres que les feuilles est faible : l'écart type de la moyenne annuelle de 10 cadres est d'environ 20 % de celle-ci.

La production de litière est plus élevée sous plantation que sous forêt, la différence étant plus grande à Bandia.

La production de litière sous Eucalyptus au Sénégal est inférieure que celles qui sont observées au Maroc (KNOCKAERT, C. 1981) et en Tunisie (POUPON, 1972) dans des plantations d'âges comparables.

Tableau 1 : Production annuelle de litière sous Eucalyptus camaldulensis et en forêt naturelle, en kg/ha.

Litière	Année	BANDIA		KEUR MAKTAR	
		Plantation	Forêt	Plantation	Forêt
Feuilles	1980/1981	1490	710	1820	910
	1981/1982	1530	920	1770	1080
	1982/1983	1550	930	1740	1120
Fleurs et fruits	1980/1981	180	60	250	460
	1981/1982	720	110	120	280
	1982/1983	840	70	80	330
Bois	1980/1981	360	440*	600	660*
	1981/1982	560	240	490	220
	1982/1983	1020	430	410	250
Ecorces caduques	1980/1981	420		420	
	1981/1982	220	120	570	160
	1982/1983	170	100	480	230
* Bois + Ecorces caduques					

2 - Apport en éléments minéraux par la litière

Teneurs moyennes de la litière de feuilles (tableau 2)

La litière d'Eucalyptus est plus pauvre en éléments minéraux que la litière récoltée sous forêt. Si les différences sont faibles pour Ca et Mg et nulles pour K, elles sont beaucoup plus significatives pour N et P.

Tableau 2 - Moyennes annuelles pondérées des teneurs en éléments minéraux de la litière de feuilles, en % du poids sec.

	ANNEE	N	P	K	Ca	Mg
Bandia plantation	1980/1981	1,01	0,040	0,49	2,08	0,27
	1981/1982	1,08	0,050	0,50	2,10	0,28
	1982/1983	1,86	0,045	0,41	2,10	0,21
Bandia forêt	1980/1981	1,90	0,103	0,60	2,48	0,39
	1981/1982	1,80	0,113	0,55	2,54	0,36
	1982/1983	1,60	0,113	0,40	2,12	0,31
Keur Maktar plantation	1980/1981	0,92	0,030	0,88	2,02	0,24
	1981/1982	0,98	0,040	0,86	1,44	0,24
	1982/1983	0,82	0,040	0,8	1,51	0,22
Keur Maktar forêt	1980/1981	1,80	0,083	1	2,23	0,36
	1981/1982	1,65	0,091	0	1,73	0,27
	1982/1983	1,45	0,081	0,39	1,80	0,27

Le rapport N/P est élevé sous *Eucalyptus*, et particulièrement à Keur Maktar, indiquant une mauvaise capacité de l'*Eucalyptus* à absorber le phosphore ; il existe une corrélation significative entre les teneurs en N et P.

	BANDIA		Keur Maktar	
	plantation	Forêt	plantation	Forêt
N/P	23,5	17,1	27,6	19,1
Coef. de corrélation	0,50	0,47	0,83	0,37
Nombre de mesures	28	27	30	28

Les teneurs en certains éléments (N, K) ont tendance à diminuer au cours des trois années de mesures. Cela peut être dû à la concurrence de la strate herbacée, dont le développement est lié à la pluviométrie, croissante de 1980 à 1982 (cf. chapitre IV).

Comparées aux teneurs des feuilles vertes sur l'arbre, les teneurs moyennes des litières montrent qu'il y a dans les *Eucalyptus* un retour vers les parties pérennes de N, P, et K avant la chute des feuilles, et une augmentation de la teneur en Ca.

Il y a peu de différences entre les stations : les litières de Bandia sont plus pauvres en K et plus riches en Ca que celles de Keur Maktar.

Variations saisonnières

Les courbes de la figure 2 montrent les variations saisonnières des teneurs de la litière d'Eucalyptus (sous forêt, la chute de feuilles étant très faible pendant une grande partie de l'année, les variations présentent moins d'intérêt). On observe les faits suivants :

- Azote : diminution importante de la teneur des feuilles au moment de maximum de défoliation montrant le retour de l'N vers les parties perennes avant la chute. Le reste de l'année, on observe une augmentation progressive. Ceci pourrait traduire une différence entre une défoliation "normale", où les feuilles tombent après une phase de sénescence, et la chute qui se produit le reste de l'année et qui pourrait résulter de stress hydriques.
- Phosphore : variations faibles, qui sont liées à celles de l'azote, et ont la même signification.
- Potassium : on observe une variation saisonnière très nette à Keur Maktar, moins à Bandia où les teneurs sont faibles. Le minimum se situe pendant la saison des pluies et correspond à un lessivage des feuilles et de la litière par les pluies, cet élément étant très mobile dans la plante.
- Calcium : d'importantes variations irrégulières sont observées sans relations avec les saisons. A Keur Maktar, le changement de parcelle en 1981 a eu une influence sur les teneurs observées.
- Magnésium : un lessivage par les pluies est peu marqué étant donné les faibles teneurs.

Apport annuel

L'apport annuel au sol d'éléments minéraux par la litière d'arbre, est donné au tableau 3, et en annexe 1. L'apport par les feuilles est relativement constant, mais on observe une diminution de l'apport d'N dans les plantations, et de K à Bandia ; on a déjà évoqué à ce sujet la concurrence de la strate herbacée, à laquelle peut s'ajouter une faible minéralisation de l'azote.

Le recyclage d'N et surtout de P est ralenti sous plantation à Keur Maktar. A Bandia où la forêt est peu productive, les apports sont les mêmes en forêt et en plantation.

Le recyclage de K, Ca et Mg est plus important sous plantation. Ainsi, l'enrichissement des horizons supérieurs du sol en ces éléments au dépens des horizons profonds sera accéléré par rapport à la forêt. C'est ce qu'observent METRO et al. (1953) sous Eucalyptus au Maroc en sol sableux.

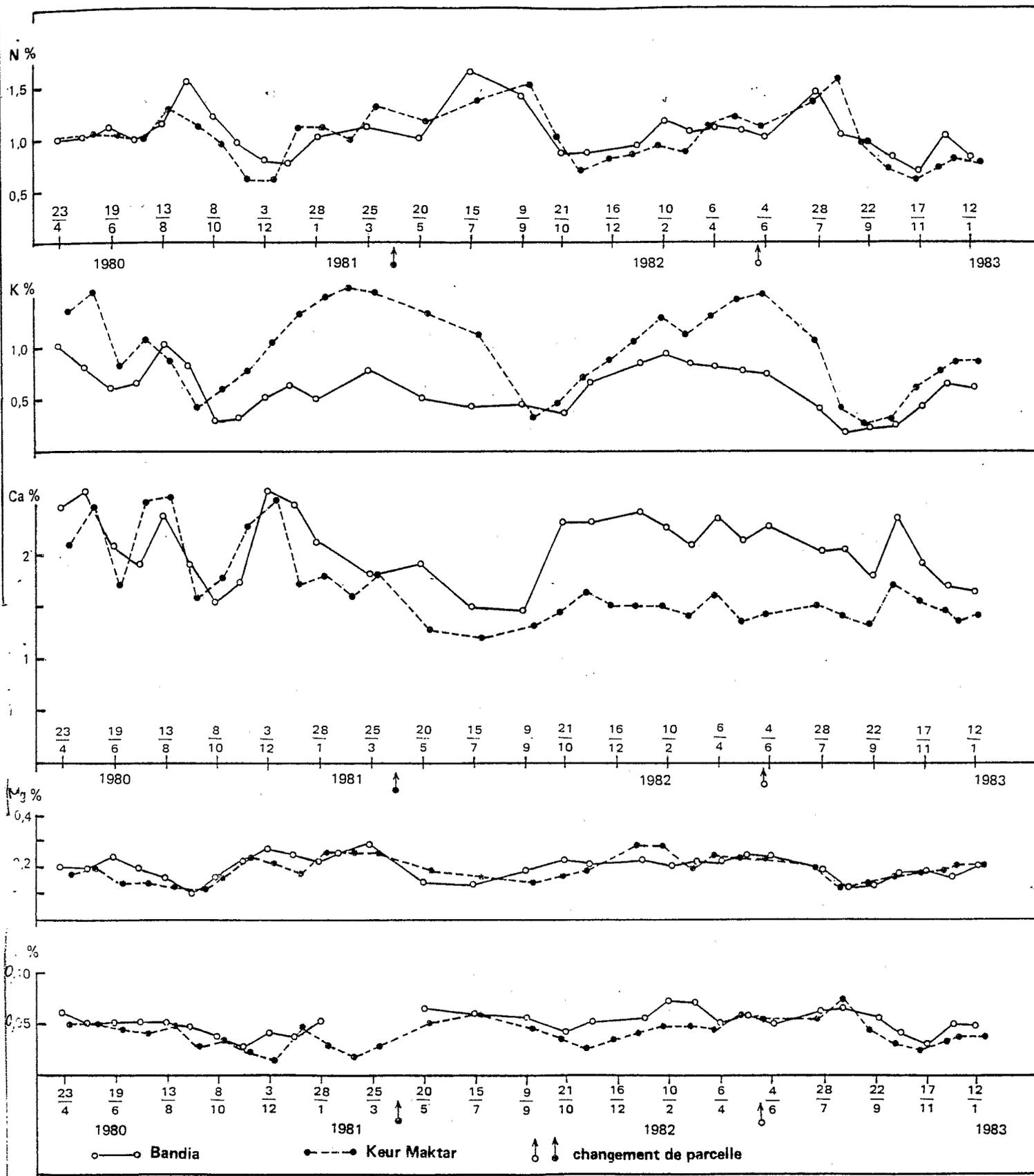


Fig. 2 - Variations saisonnières des teneurs en éléments minéraux de la litière d'Eucalyptus à Bandia et Keur Maktar

Tableau 3 - Apport d'éléments minéraux au sol par la litière d'arbres, en kg/ha/an, pendant trois années.

		*	N	P	K	Ca	Mg
Bandia plantation	Feuilles	1	15,0	0,60	7,3	31,1	4,1
		2	16,5	0,78	7,6	32,1	4,2
		3	13,3	0,70	6,3	32,5	3,4
	Total	1	19,1	0,90	13,0	41,2	5,7
		2	24,9	1,55	15,5	49,9	5,9
		3	20,3	1,33	13,4	54,2	4,9
Bandia forêt	Feuilles	1	13,6	0,74	4,3	17,7	2,8
		2	16,6	1,04	5,1	23,4	3,4
		3	14,9	1,06	3,7	19,7	2,9
	Total	1	18,6	1,23	6,1	26,2	3,7
		2	21,2	1,42	6,1	33,5	4,2
		3	23,1	1,48	4,6	34,2	3,8
Keur Maktar plantation	Feuilles	1	16,7	0,55	16,1	36,7	4,3
		2	17,3	0,71	15,2	25,4	4,3
		3	14,3	0,69	15,4	26,4	3,9
	Total	1	21,5	0,79	24,4	53,9	5,8
		2	21,5	0,94	20,6	39,3	6,2
		3	17,7	0,87	19,1	38,1	5,3
Keur Maktar forêt	Feuilles	1	16,4	0,75	9,7	20,3	3,3
		2	17,9	1,00	7,2	18,7	3,0
		3	16,3	0,92	6,6	20,3	3,0
	Total	1	29,4	1,49	17,3	34,5	5,3
		2	25,9	1,53	9,9	29,1	4,6
		3	26,3	1,68	11,0	34,0	5,2
* 1 : 1980/1981		-	2 : 1981/1982		-	3 : 1982/1983	

3 - Immobilisation et exportation

Les teneurs en éléments observées dans les feuilles et le bois d'*Eucalyptus* sont variables d'un individu à l'autre. Les observations de SAUVAGEOT et al. (1980) sur la même espèce montrent une influence de la provenance sur la teneur en K des troncs mais non sur les feuilles. Quoiqu'il en soit le petit nombre d'échantillons analysés ici ne permet pas une estimation précise des valeurs moyennes.

Les valeurs obtenues figurent au tableau 5.

Tableau 5 - Moyennes des teneurs en éléments minéraux observées sur quelques arbres, en % de la matière sèche.

		N	P	K	Ca	Mg
Bandia	Feuilles	1,76	0,093	0,74	1,42	0,38
Eucalyptus	Tronc	0,38	0,024	0,14	0,90	0,09
Keur Maktar Eucalyptus	Feuilles	1,69	0,083	1,84	1,44	0,21
	Troncs	0,22	0,025	0,32	1,28	0,04
	Branches	0,45	0,030	0,63	1,55	0,06
	Racines ⁽¹⁾	0,55	0,022	0,21	1,25	0,09
Keur Maktar Acacia	Feuilles	2,26		1,05	1,23	0,25
	Troncs	0,41	0,018	0,34	0,46	0,07
	Branches	0,44	0,023	0,44	0,38	0,08

(¹) Prélèvements faits avec ceux des racines d'herbacées : il s'agit de racines fines

Les différences entre stations sont faibles sauf pour les teneurs en K, toujours inférieures à Bandia. Le bois d'Acacia est remarquablement pauvre en Ca.

L'immobilisation minérale dans les plantations étudiées a été calculée (Tableau 6). L'exportation correspond au bois et branches, celles-ci étant enlevées. L'exploitation d'un hectare de plantation exporte donc approximativement 80 kg d'N, 8 kg de P, 110 kg de K, 400 kg de Ca et 13 kg de Mg, à Keur Maktar.

A Bandia où la production de bois est beaucoup plus faible, en raison de la pluviométrie, l'exportation représente 50 kg d'N, 4 kg de P, 20 kg de K, 120 kg de Ca et 12 kg de Mg.

Tableau 6 - Immobilisation des éléments minéraux dans une plantation d'Eucalyptus de 8 ans à Keur Maktar, en kg/ha.

	N	P	K	Ca	Mg
Feuilles	30	2	33	26	4
Troncs	61	7	88	349	11
Branches	18	1	23	55	2
Total	109	9	144	430	17

Les réserves en bases échangeables du sol ont été estimées sous Eucalyptus, pour la profondeur 0-60 cm, aux valeurs suivantes, en kg/ha :

	K	Ca	Mg
Bandia	260	13 600	1 300
Keur Maktar	250	2 900	200

L'Eucalyptus exploite le sol à une profondeur plus grande, bien que la densité de racines diminue sensiblement au-dessous de 50 cm, et on peut multiplier par 2 les valeurs ci-dessus pour estimer les réserve exploitables. Il apparaît cependant que les réserves en K surtout, sont faibles par rapport à l'exploitation. Il faut toutefois remarquer que la notion de bases échangeables ne correspond peut être pas exactement aux éléments utilisables par la végétation ; le taux de renouvellement du K échangeable n'est pas connu mais il est vraisemblablement faible dans des sols sableux. METRO et al (1953) pensent qu'il y a une réelle menace d'épuisement en K des sols sableux du Rharb (Maroc) sous Eucalyptus.

SAUVAGEOT et al. (1980) posent le problème d'un épuisement en azote, en comparant les retombées d'N par la litière au départ par l'exploitation ; mais l'N retournant au sol fait partie du cycle absorption/retour au sol. Seules les possibilités de fixation de l'N dans le sol peuvent compenser les pertes par exploitation, à défaut de quoi, le stock initial d'azote diminuera. Le stock d'azote total dans l'horizon supérieur du sol est actuellement en plantation environ la moitié de ce qu'il est en forêt, autour de 1500 kg/ha dans les 20 premiers cm où a lieu l'essentiel de la minéralisation. Le problème de l'azote du sol est complexe et sera discuté dans un autre rapport.

Les quelques données sur l'immobilisation par les Eucalyptus que l'on a pu recueillir dans la littérature figurent au tableau 7. En comparaison, nos résultats montrent une faible immobilisation d'azote.

Tableau 7 - Quelques données sur l'immobilisation en plantations d'Eucalyptus, en kg/ha.

Auteur	Pays (pluie)	Age ans	N	P	K	Ca	Mg
Madgwick et al. (1981)	New Zealand (1680 mm)	4	332	23	306	332	63
Metro et al. 1953	Maroc * (env. 500 mm)	12	-	12	104	340	-
Sauvageot et al. 1980	Maroc *	9	266	34	295	838	-
Sarlin 1960	Congo*	3	-	-	10	30	10

* Eucalyptus camaldulensis

IV - LA STRATE HERBACEE

La strate herbacée intervient dans les bilans de l'eau, des éléments minéraux, de la matière organique et de l'azote pour une part non négligeable puisque selon les parcelles et les années, elle peut avoir une production de plus de 3 tonnes de matière sèche à l'hectare. La biomasse varie avec la pluviométrie.

Dans les parcelles d'Eucalyptus étudiées la strate herbacée est essentiellement formée de graminées. En forêt à Bandia on a un mélange de graminées et d'autres herbes, généralement peu développées. A Keur Maktar dans la parcelle choisie où le couvert arboré est dense la strate herbacée est formée d'une composée, *Blainvillea gayana* dont la présence est liée à une ombre assez dense, et également à certaines caractéristiques topographiques et édaphiques(1). Dans les petites clairières on a des taches de graminées.

La majorité des plantes herbacées étant des espèces annuelles, on a estimé que la quantité d'éléments minéraux immobilisée annuellement était recyclée chaque année par la litière.

(1) J.Y. LOYER, communication personnelle.

Les teneurs en éléments minéraux des parties aériennes sont données au tableau 8 et l'immobilisation annuelle annuelle au tableau 9. Les résultats concernent la plantation d'Eucalyptus à Keur Maktar montrent que les teneurs en N, Ca et Mg et surtout en K, décroissent fortement avec l'augmentation de la production (fig. 3A). Les quantités de ces éléments immobilisées se stabilisent à partir d'un certain seuil (fig. 3C), les différences observées entre 1981 et 1982 n'étant pas significative pour N, K, Ca et Mg.

Tableau 8 - Teneurs en éléments minéraux des parties aériennes, de la strate herbacée, en % du poids sec, et biomasse, en kg/ha.

	ANNEE	N	P	K	Ca	Mg	Biomasse
Bandia plantation	1980	1,88	0,19	2,39	0,61	0,55	1000
	1981	1,54	0,14	1,34	0,69	0,47	3520
	1982	0,93	0,13	0,75	0,66	0,41	-
Bandia forêt	1980	2,50	0,17	3,37	1,05	0,60	960
	1981	2,39	0,15	2,12	1,66	0,68	1300
Keur Maktar plantation	1980	1,71	0,14	3,56	1,03	0,30	240
	1981	0,82	0,09	1,53	0,72	0,23	2300
	1982	0,63	0,12	0,89	0,43	0,18	3240
	1983	0,51		1,20	0,38	0,18	2690
Keur Maktar forêt	1980	2,22	0,15	4,54	1,60	0,45	870
	1981	1,53	0,08	2,11	1,15	0,25	2360
	1983	1,53	0,14	2,92	1,67	0,30	1650

Tableau 9 - Recyclage annuel d'éléments minéraux par la strate herbacée (parties aériennes) en kg/ha.

	ANNEE	N	P	K	Ca	Mg
Bandia plantation	1980	18	1,8	23	6	5
	1981	58	4,9	50	24	18
	1982	consommée par les sauterelles pas de production herbacée				
Bandia forêt	1980		1,7	31	10	6
	1981		2,0	28	21	9
Keur Maktar plantation	1980	4	0,3	8	2	1
	1981	18	2,0	35	16	5
	1982	20	3,8	29	14	6
	1983	14		32	10	5
Keur Maktar forêt	1980	19	1,3	39	13	4
	1981	36	1,9	49	27	6
	1983	15	2,2	48	28	5

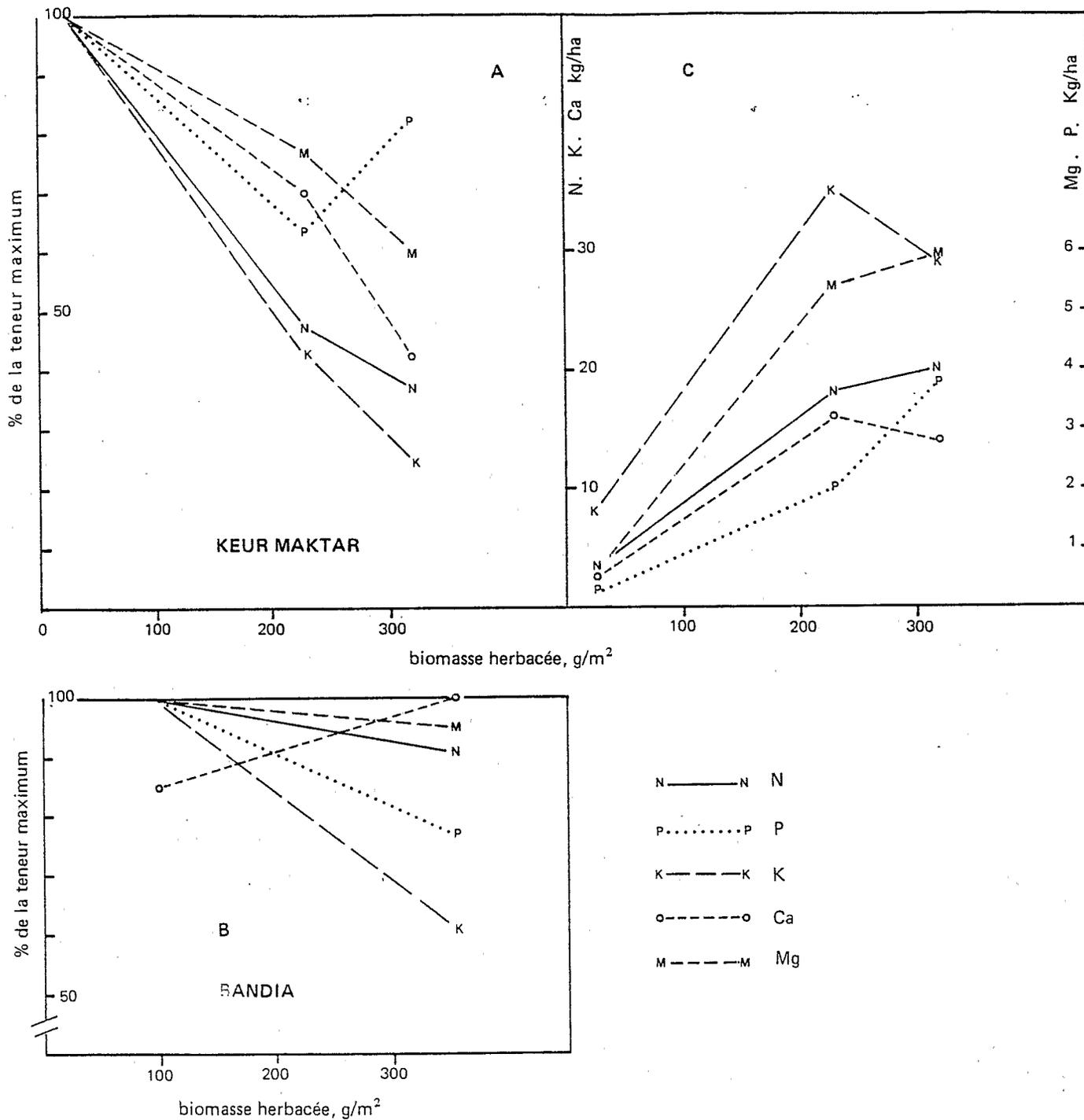


Fig. 3 - A.B. Teneurs annuelles en éléments minéraux de la strate herbacée sous Eucalyptus (exprimées en pourcentage de la teneur maximum), en fonction de sa biomasse, à Keur Maktar (A) et Bandia (B).
 C. Minéralomasse de la strate herbacée sous Eucalyptus en fonction de sa biomasse, à Keur Maktar

Dans la parcelle de forêt de Keur Maktar, on observe également une diminution des teneurs avec l'augmentation de la biomasse.

Il ressort de ces observations d'une part que l'eau est actuellement le facteur limitant de la production herbacée à Keur Maktar, la biomasse pouvant croître indépendamment de la nutrition minérale, d'autre part que la quantité d'éléments minéraux disponible est limitée. dans ces conditions il existe vraisemblablement une certaine concurrence avec les arbres.

Les résultats concernant la plantation de Bandia sont différents : malgré une forte augmentation de la biomasse herbacée en 1981 par rapport à 1980, seule la teneur en K a diminué sensiblement ; on a déjà vu qu'à Bandia l'alimentation de la végétation en K est mal assurée. La teneur en Ca augmente au contraire avec la biomasse.

Une relation significative entre les teneurs en N et P de la strate herbacée est mise en évidence à Keur maktar, aussi bien en forêt qu'en plantation (tableau 10), relation qui n'existe pas à Bandia et dont l'interprétation est difficile. Divers travaux (CHAPIN, 1980) ont montré que la nutrition en P pouvait être liée à l'absorption d'N dans les sols pauvres.

Tableau 10 - Relations entre les teneurs en N et P dans les parties aériennes de la strate herbacée.

		Bandia		Keur Maktar	
		Plantation	Forêt	Plantation	Forêt
1980	N/P	10,0	13,9	11,9	14,5
	r	0,16	- 0,28	0,76 *	0,69 *
1981	N/P	11,9	15,4	9,0	18,6
	r	0,14	0,47	0,63 *	0,93 *
1982	N/P			5,4	
	r			0,79 *	
1983	N/P				11,3
	r				0,92 *

* significatif.

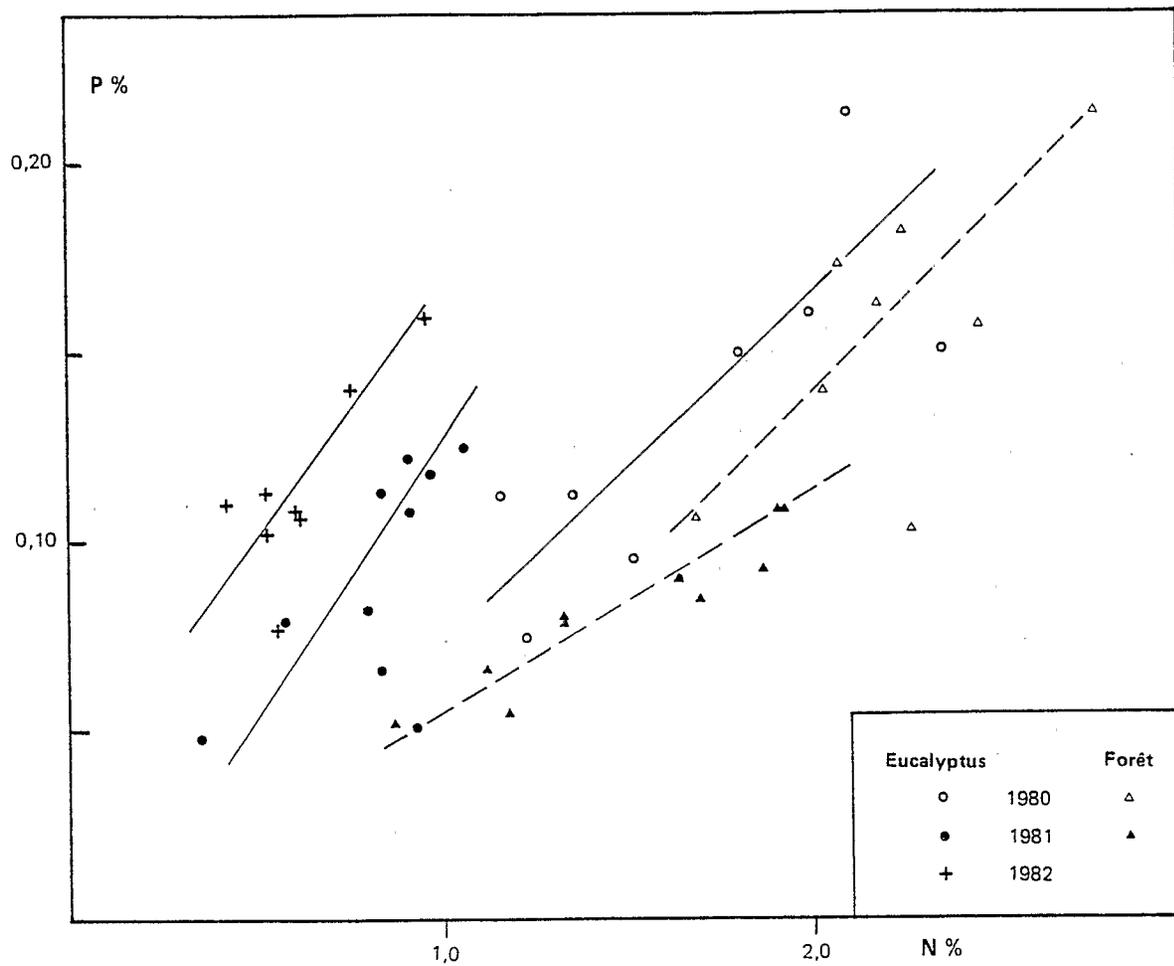


Fig. 4 - Relations entre le phosphore et l'azote dans la strate herbacée à Keur Maktar.

L'immobilisation d'éléments minéraux dans les racines n'a été mesurée que dans la plantation de Keur Maktar en 1981. Les résultats (tableau 11) montrent une biomasse presque aussi élevée que celle des parties aériennes mais une plus faible teneur en éléments minéraux à l'exception de l'azote.

Tableau 11 - Immobilisation d'éléments minéraux dans les racines de la strate herbacée sous Eucalyptus à Keur maktar.

	N	P	K	Ca	Mg	biomasse
Kg/ha	16,0	0,9	1,4	3,0	1,8	2000
% du total herbes	47	30	4	16	25	46

V - CIRCULATION PAR LES EAUX DE PLUIES (1)

Dans la zone étudiée les poussières atmosphériques sont très abondantes et pendant la saison sèche forment d'importants dépôts sur la végétation et le sol.

Les eaux de pluie prélevées à découvert sont toujours chargées, en particulier en Ca, à cause des poussières en suspension et des dépôts qui se font sur les pluviomètres. Les apports extérieurs ainsi mesurés représentent annuellement 5 à 10 kg/ha de K et 10 à 15 kg/ha de Ca. Ils ne tiennent compte des minéraux mis en solution par les eaux de pluie.

Sous couvert végétal, les eaux des premières pluies ont des teneurs élevées en éléments minéraux, provenant en partie des dépôts de poussières accumulés sur la végétation. Pendant le reste de la saison des pluies, les teneurs en K et Ca restent assez importantes. Toutefois, l'apport de l'extérieur représente 1/3 à 2/3 du total, et la partie recyclée par lessivage de minéraux venant de la végétation reste faible comparée au recyclage par la litière.

Les variations interannuelles dans l'apport total sont importantes (Tableau 12). L'apport atmosphérique est variable, et d'autre part l'état physiologique de la plante peut intervenir sur le pluviollessivage. Enfin, la précision des analyses d'eaux telles qu'elles ont été faites est faible et les valeurs du tableau 12 représentent une estimation.

(1) voir les résultats de 1983 en annexe 2

Tableau 12 - Estimation des apports d'éléments minéraux au sol par les précipitations sous couvert, en kg/ha/an.

	Année	P	K	Ca	Mg
Bandia plantation	1980	0,1	6	9	2
	1981	1,0	14	23	5
	1982	0,7	9	18	4
Bandia forêt	1980	0,3	5	9	2
	1981	1,0	12	32	7
	1982	0,8	9	26	6
Keur Maktar plantation	1980	0,1	8	6	1
	1981	0,6	8	22	3
	1982	0,4	5	15	3
Keur Maktar forêt	1980	0,1	13	7	2
	1981	0,5	20	27	7
	1982	0,4	12	22	5

VI - CONCLUSIONS

Dans les parcelles d'Eucalyptus étudiées, âgées de 5 à 9 ans, la quantité d'éléments minéraux mise en jeux dans les cycles annuels est du même ordre de grandeur que celles qui sont mesurées en forêt naturelle, correspondant à une certaine potentialité du sol et du milieu. Cependant, une observation plus fine montre des différences plus ou moins importantes mais sensibles, et d'autre part le fonctionnement des deux écosystèmes est différent pour arriver à des résultats proches.

L'apport de K, Ca et Mg au sol par la litière d'arbre est plus important sous plantation que sous forêt, accélérant ainsi l'accumulation d'éléments en surface aux dépens des horizons profonds où ils sont absorbés. Cette tendance ne peut que s'accroître avec la croissance des arbres et l'augmentation des quantités de litière produites.

L'apport de N et de P par la litière d'arbre tend au contraire à être plus faible en plantation, surtout à Keur Maktar. La dominance des légumineuses dans la forêt est en partie responsable de la plus grande richesse de la litière en azote ; il semble s'y ajouter une diminution de la minéralisation de N en plantation, due aux propriétés de la litière d'Eucalyptus d'une part et à un effet des racines de graminées d'autre part (cf. rapport sur le cycle édaphique de l'N (1)). Une fixation non symbiotique de l'N dans la litière d'Eucalyptus,

(1) F. Bernhard-Reversat, en préparation.

observée en peuplements naturels (O'CONNELL et al. 1979) ne semble pas devoir être un processus important avec les faibles pluviométries des stations étudiées, bien que l'on ait observé une tendance à l'augmentation de la quantité d'N dans la litière au cours de sa décomposition.

Les faibles teneurs en P de l'Eucalyptus pourraient être liées à une absence de mycorrhization, le P étant l'élément dont l'absorption est la plus favorisée par la présence de mycorrhizes. Des mycorrhizes sont présents chez l'Eucalyptus en peuplements naturels (MALAJCZUK et al. 1981). Aucune observation à ce sujet n'a été faite ici.

Les teneurs en éléments minéraux de l'Eucalyptus camaldulensis sont donc faibles, en particulier en N et P, les apports en K, Ca et Mg plus élevés qu'en forêt étant liés à une production de litière plus importante. Cette espèce montre donc une plus grande efficacité des éléments minéraux en particulier de N: la quantité de matière organique produite par g d'élément minéral est plus grande qu'en forêt naturelle. Ce comportement est, selon CHAPIN (1980), caractéristique des espèces à croissance rapide poussant sur sol pauvre. Elles montrent une faible concentration en éléments minéraux, accompagnée de symptômes de déficience, dont une capacité d'absorption racinaire réduite, et une mortalité élevée en réponse aux stress. On observe effectivement dans les parcelles d'Eucalyptus des zones étudiées une mortalité élevée dont la cause n'est pas toujours déterminée : sol induré, maladie....

Si le recyclage des éléments minéraux par les arbres reste relativement constant, l'importance du recyclage par la strate herbacée est au contraire très variable. En effet, la production herbacée dépend étroitement de la pluviométrie (quantité et répartition des pluies), essentiellement variable dans les zones climatiques sahéliennes ou sahélo-soudaniennes. Dans les jeunes plantations, l'enrichissement du sol superficiel par la litière d'arbre semble profiter essentiellement à la strate herbacée qui utilise très efficacement les éléments minéraux des 10 à 20 premiers cm de sol où se situent ses racines. Ceci est particulièrement évident à Keur maktar, où le sol étant pauvre, la décomposition du matériel végétal constitue la principale source d'éléments minéraux dans les horizons de surface. Sur ces sols, les quantités d'éléments recyclées par la strate herbacée augmentent avec la pluviométrie jusqu'à un certain seuil où le maximum d'éléments est utilisé ; une production végétale supérieure n'augmente pas l'immobilisation. Les éléments minéraux ne sont donc disponibles qu'en quantité limitée. La concurrence avec les arbres est limitée par le fait que les arbres exploitent une plus grande profondeur de sol. Cependant, pour des éléments

comme le K qui est peu abondant dans le sol, ou comme l'azote, qui est minéralisé essentiellement dans les 10 premiers cm du sol, la concurrence peut être efficace dès que la strate herbacée est développée. A l'exception de Ca, l'immobilisation et le recyclage d'éléments minéraux par la strate herbacée peuvent être plus importants que le recyclage annuel par les arbres.

Dans ces conditions, il peut difficilement être envisagé d'exporter la production herbacée pour la consommation animale ce qui aurait pour conséquence une perte importante d'éléments minéraux. Il est possible par contre d'envisager le pâturage sur place, une grande partie des minéraux absorbés étant alors restitués. (Ceci aurait également pour avantages de résoudre le problème du desherbage nécessaire en fin de saison des pluies et d'apporter une matière organique meilleure que la litière herbacée). Pour les mêmes raisons, des cultures associées à la plantation ne peuvent se faire sans un apport d'engrais.

L'exploitation de l'Eucalyptus devra être faite de façon à minimiser les pertes. En particulier les feuilles de l'arbre, qui représentent environ 1/3 de l'azote et 1/4 du potassium, devront être laissées sur place.

Les analyses d'eau de pluie ont montré un apport relativement important de K et Ca qui pourrait provenir des poussières atmosphériques. Les poussières atmosphériques piégées à Dakar sont étudiées par J.Y. GAC (Laboratoire de Géologie, ORSTOM, Dakar) et les premières analyses semblent montrer qu'elles contiennent surtout de la silice (GAC, comm. pers.). La suite de ses recherches permettra de dire si l'apport observé dans les strations étudiées ici peut provenir de ces poussières, ou s'il s'agit plus vraisemblablement de dépôts provenant de l'érosion éolienne locale, auquel cas on ne peut les considérer comme un apport extérieur.

Références bibliographiques

- CHAPIN, F.S. III, 1980 - *The mineral nutrition of wild plants.*
Ann. Rev. Ecol. Syst. 11 233-260.
- KNOCKAERT, C., 1981 - *Production de litière dans quatre plantations d'Eucalyptus camaldulensis et dans un peuplement naturel de Quercus suber.*
Ann. Rech. For. Maroc 21 349-373.
- MADGWICK, H.A.I., BEETS, P., et GALLAGHER, S., 1981 - *Dry matter accumulation, nutrient and energy content of the above ground portion of 4-year-old stands of Eucalyptus nitens and E. fastigata.* *N.Z.J. Forestry Sci.* 11 53-59.
- MALAJCZUK, N. et HINGSTON, F.J., 1981 - *Ectomycorrhizae associated with jarrah roots.* *Aust. J. Bot.* 29 437-446.
- METRO, A.E. et DE BEAUCORPS, G., 1953 - *Influence des peuplements d'Eucalyptus sur les sols sablonneux du Rharb.* *Ann. Rech. For. Maroc*, 3 151-166.
- O'CONNELL, A.M., GROVE, T.S., et MALAJCZUK, N., 1979 - *Nitrogen fixation in the litter layer of eucalypt forests.*
Soil Biol. Biochem. 11 681-682.
- POUPON H., 1982 - *Description des appareils aérien et souterrain d'Eucalyptus camaldulensis Dehn. introduit en Tunisie du nord.*
Cah. ORSTOM, sér. Biol. n° 17, 47-59.
- SARLIN, 1960 - *Les Eucalyptus du Congo. Etude chimique.*
CTFT, rapport multigr.
- 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 exportés au cours d'une coupe.*
Ann. Rech. For. Maroc 20 65-85.

A N N E X E 1

Apport annuel au sol en éléments minéraux par la litière
d'arbres autre que les feuilles, en kg/ha/an.

1 : 1980/1981, 2 : 1981/1982, 3 : 1982/1983

			N	P	K	Ca	Mg
Bandia plantation	Fleurs et fruits	1	1,3	0,08	1,5	1,5	0,2
		2	5,6	0,51	5,3	6,8	0,7
		3	2,3	0,29	4,5	2,6	0,3
	Bois	1	1,2	0,13	0,8	5,8	0,3
		2	2,1	0,23	1,5	10,0	0,6
		3	4,2	0,32	2,0	18,5	1,0
	Ecorces caduques	1	1,6	0,07	3,4	2,8	1,1
		2	0,5	0,03	1,1	1,0	0,4
		3	0,5	0,02	0,5	0,6	0,2
Bandia Forêt	Fleurs et fruits	1	1,3	0,12	0,5	0,6	0,1
		2	1,5	0,21	0,5	1,1	0,2
		3	1,6	0,19	0,6	0,9	2,9
	Bois	1*	3,7	0,37	1,3	7,9	0,8
		2	2,2	0,14	0,3	5,1	0,4
		3	6,0	0,22	0,3	10,2	0,6
	Ecorces caduques	1	-	-	-	-	-
		2	0,9	0,03	0,1	3,9	0,2
		3	0,6	0,02	0	3,4	0,1
Keur Maktar plantation	Fleurs et fruits	1	1,7	0,10	3,2	3,6	0,3
		2	1,0	0,09	0,6	1,3	0,2
		3	0,7	0,07	1,2	1,4	0,2
	Bois	1	2,0	0,09	2,9	11,6	0,6
		2	1,9	0,10	2,1	7,2	0,6
		3	1,5	0,08	1,0	5,9	0,4
	Ecorces caduques	1	1,1	0,05	2,2	2,0	0,6
		2	1,3	0,04	2,7	5,4	1,1
		3	1,2	0,03	1,5	4,4	0,8
Keur Maktar Forêt	Fleurs et fruits	1	8,7	0,59	5,4	4,7	1,2
		2	4,7	0,44	2,2	2,3	1,0
		3	6,4	0,66	3,8	4,3	0,9
	Bois	1*	4,3	0,15	1,4	9,5	0,8
		2	1,8	0,06	0,4	3,9	0,3
		3	1,9	0,06	0,4	4,3	0,5
	Ecorces caduques	1	-	-	-	-	-
		2	1,5	0,03	0,1	4,2	0,3
		3	1,7	0,04	0,2	5,1	0,8
* Bois + écorces caduques							

A N N E X E 2

LES EAUX DE PLUIE ET DE PLUVIOLESSIVAGE EN 1983

Les résultats des analyses ayant été obtenus après la préparation du présent rapport, ils n'ont pu être intégrés au chapitre correspondant.

Dispositif :

Le nombre des pluviomètres a été réduit (4 à 8 par parcelle) et des lysimètres ont été installés. Ces derniers étaient constitués de tôles terminées par une rigole reliée à un bidon. Ces tôles étaient placées légèrement inclinées dans la paroi de fosses à 30 cm et 60 cm de la surface du sol.

En raison de la teneur en argile du sol de Bandia d'une part et de la faible pluviométrie de 1983 d'autre part, aucun écoulement n'a été observé dans les lysimètres de ce site. A Keur Maktar on a recueilli régulièrement des eaux de percolation à 30 cm, et plus rarement à 60 cm.

Résultats :

Les eaux prélevées à decouvert à Keur Maktar sont vraisemblablement polluées, montrent des teneurs supérieures (N, P) ou égales aux teneurs des eaux sous couvert. Par approximation, on peut considérer que les apports de l'extérieur par les pluies sont du même ordre de grandeur à Bandia et à Keur Maktar. Les quantités ainsi apportées ne sont pas élevées, mais néanmoins à Bandia l'apport de K peut compenser en 4 ans l'exportation par le bois, (quand la production est faible).

Les quantités d'éléments minéraux recueillies sous plantation d'Eucalyptus sont les mêmes à Bandia et Keur Maktar, correspondant à un même développement des couronnes, et à un état physiologique semblable. Ces quantités sont sensiblement plus faibles que celles qui sont lessivées sur les couronnes de la forêt à Acacia, bien que les feuilles d'Acacia n'apparaissent qu'en début de saison des pluies accumulent moins de poussières. La différence est sans doute due à la structure et à la physiologie du feuillage (cuticule, etc...), l'Eucalyptus conservant mieux les éléments minéraux.

TABLEAU 1 - Apport par les eaux de pluie et de pluvio-lessivage à Bandia (teneurs en mg/l) en 1983, à découvert (D) et sous couvert en plantation (Pl) et en forêt (Fo)

Date		30.6	14.7	11.8	25.8	8.9	21.9	5.10	Quantité totale
mm		43	5	25	71	54	30	7	Kg/ha
N	D	[0,5]	1,1	0,9	0,8	0,6	0,7	1,0	1,7
	Pl	0,9	2,2	2,7	1,8	0,9	1,6	1,9	3,5
	Fo	1,7	3,6	3,9	1,2	1,6	1,4	3,0	4,2
P	D	[0,05]	0,05	0,26	0,05	0,05	0,04	0,11	0,17
	Pl	0,10	0,26	0,29	0,17	0,10	0,12	0,24	0,35
	Fo	0,17	0,52	0,40	0,16	0,26	0,25	0,36	0,55
K	D	[1,5]	4,1	1,8	1,6	1,4	1,6	[2,5]	4,1
	Pl	2,2	5,0	7,5	4,0	1,9	3,1	6,7	8,3
	Fo	3,7	14,7	7,3	2,4	3,4	3,8	5,7	9,2
Ca	D	[3]	[10]	2,7	[3,0]	3,0	3,6	5,1	7,2
	Pl	5,6	21,5	11,5	4,6	3,6	6,7	10,7	14,3
	Fo	11,7	37,1	19,2	5,5	6,4	7,7	8,9	22,0
Mg	D	[0,7]	2,0	0,4	0,7	0,4	0,6	0,7	1,4
	Pl	1,0	3,7	2,0	0,9	0,6	1,2	1,9	2,6
	Fo	2,3	8,0	4,4	1,1	1,2	1,6	2,0	4,5
Les valeurs entre crochets sont des estimations									

TABLEAU 2 - Apport par les eaux de pluvio-lessivage à Keur Maktar en 1983 (teneurs en mg/l) sous couvert.

Date		24.6	21.7	4.8	18.8	1.9	28.9	18.10	Quantité totale
mm		5	118	1	68	32	99	1	Kg/ha
N	Pl	5,9	0,9	6,2	1,1	1,0	1,1	7,0	3,6
	Fo	12,7	1,6	8,1	1,1	1,2	1,2	3,4	5,0
P	Pl	0,40	0,11	0,48	0,11	0,07	0,06	0,24	0,31
	Fo	0,70	0,10	0,60	0,08	0,18	0,08	0,20	0,35
K	Pl	8,5	1,8	10,0	3,0	3,8	1,8	6,3	7,8
	Fo	20,3	5,8	27,6	2,8	4,7	4,1	27,8	15,9
Ca	Pl	21,2	4,1	34,1	5,3	5,5	4,0	36,6	15,9
	Fo	33,8	10,0	41,3	9,0	6,8	7,0	32,5	18,8
Mg	Pl	4,0	0,6	5,9	0,8	0,8	0,5	4,7	2,3
	Fo	7,5	2,0	10,3	0,9	1,4	1,0	7,9	5,0

Les quantités d'éléments minéraux percolés dans le sol à 30 cm de profondeur ont été calculées pour la plantation de Keur Maktar (Tableau 3). Pendant les périodes de bonne pluviosité, environ 37 % du N, 30 % du P, 60 % du K, 50 % du Ca et du Mg arrivant au sol percolent au-delà de 30 cm, ce qui représente une mobilité importante des éléments minéraux. Peu d'eau a été accueillie à 60 cm, mais elles avaient des teneurs plus élevées qu'à 30 cm.

En forêt, il n'est pas possible d'établir un bilan quantitatif. Etant donné la plus faible quantité d'eau percolant, et les teneurs observées, on peut estimer que la mobilité des éléments minéraux, en particulier du K, est moins élevée qu'en plantation.

TABLEAU 3 - Percolation des éléments minéraux à 30 cm de profondeur sous Eucalyptus à Keur Maktar.

Date		21,7	18,8	1,9	28,9	Total*
30 cm	mg/l	5,4	3,8	2,9	4,5	1,0
	Kg/ha	0,38	0,08	0,12	0,40	
0 cm	Kg/h	1,06	0,75	0,32	0,54	2,7
30 cm	mg/l	27,2	12,4	9,9	12,1	3,7
	Kg/ha	1,9	0,3	0,4	1,1	
0 cm	Kg/ha	2,1	2,0	1,2	0,9	6,2
30 cm	mg/l	17,7	9,0	7,1	17,7	3,3
	Kg/ha	1,2	0,2	0,3	1,6	
0 cm	Kg/ha	4,8	3,6	1,8	2,0	6,6
* Pour les périodes considérées						

En conclusion, les mesures faites sur les eaux en 1983 semblent plus fiables que celles des années précédentes (faible délai d'exécution des analyses, moindre pollution).

On observe que les Eucalyptus conservent mieux les éléments minéraux que la forêt naturelle au niveau de la végétation, mais il semble que les éléments soient plus mobiles au niveau du sol en sol sableux. Une étude plus approfondie de la mobilité des minéraux dans le sol permettrait de mieux comprendre le fonctionnement global du système.