



Plantation de Framiré, âgée de 5 ans 1/2, Irobo (Côte-d'Ivoire).

Photo Malagnoux.

ESSAI DE COMPARAISON DES CYCLES D'ÉLÉMENTS MINÉRAUX DANS LES PLANTATIONS DE FRAMIRÉ (*TERMINALIA IVORENSIS*) ET EN FORÊT NATURELLE DE CÔTE-D'IVOIRE

par France BERNHARD-REVERSAT
ORSTOM, Dakar, Senegal.

SUMMARY

A TRIAL COMPARISON OF CYCLES OF MINERAL ELEMENTS IN PLANTATIONS AND NATURAL FOREST GROWTHS OF FRAMIRÉ (*TERMINALIS IVORENSIS*) IN THE IVORY COAST

*A study has been made of cycles of mineral elements in forest plantations and in nearby natural forest growths of Framiré (*Terminalis ivorensis*). The study was performed on two different geological substrata.*

The quantities of mineral elements recycled annually through the fall of leafmould and through pluvioleaching are of the same magnitude in plantations and in the natural forest.

The accumulation of organic matter and nitrogen in the topsoil is greater in plantations. On the other hand, the exchangeable cation reserves of the soil are low in plantation soils, particularly in sandy soils.

The mineralization of nitrogen is strongly influenced by the environment of the plantation, but the influence depends on the type of soil. For example, the mineralization of nitrogen is more active in soils lying on sand than in soils lying on shale, and the absorption of nitrogen by vegetation is greater in the former.

RESUMEN

ENSAYO DE COMPARACION DE LOS CICLOS DE ELEMENTOS MINERALES EN LAS PLANTACIONES DE FRAMIRÉ (*TERMINALIA IVORENSIS*) Y EN BOSQUE NATURAL DE COSTA DE MARFIL

*Se ha procedido al estudio de los ciclos de los elementos minerales en plantaciones forestales de framiré (*Terminalia ivorensis*) y en el bosque natural cercano. Se ha procedido a esta experimentación en dos substratos geológicos distintos.*

Las cantidades de elementos minerales reciclados anualmente por la caída de paja y el efecto de pluviolelixivación son de la misma magnitud en plantación que en el bosque natural.

La acumulación de materias orgánicas y de nitrógeno en el suelo superficial es más elevada en las plantaciones. Las reservas del suelo en cationes intercambiables demuestran, por el contrario, un empobrecimiento bajo las plantaciones, y en particular en suelos arenosos.

La mineralización del nitrógeno queda fuertemente influida por el medio de plantación, pero en cambio, la influencia ejercida guarda relación con el tipo de suelo. Así, por ejemplo, la mineralización del nitrógeno es más activa en los suelos sobre arenas que en los suelos sobre esquistos y la absorción de nitrógeno por la vegetación es más elevada en el primer caso.

INTRODUCTION

Les perturbations introduites par l'activité humaine dans le milieu naturel ont pour conséquence de détruire un équilibre. Le nouveau système pourra tendre à un nouvel équilibre, ou bien, si l'action humaine est limitée dans le temps, à retrouver l'équilibre climatique. Ces transformations concernent l'ensemble du fonctionnement de l'écosystème et en particulier les cycles biogéochimiques des éléments minéraux.

Aussi une étude de la circulation des éléments minéraux dans une plantation forestière devra-t-elle s'appuyer sur les connaissances acquises dans le milieu naturel afin de pouvoir mettre en évidence l'évolution par rapport à l'équilibre climatique.

Dans les régions intertropicales ces problèmes ont fait l'objet de quelques études, comme celles de MAHEUT et DOMMERGUES (1960) en Casamance (Sénégal), de ROBINSON (1967) au Kenya, et de CORNFORTH (1970) à Trinidad.

En forêt ombrophile de Côte-d'Ivoire, l'étude des cycles des éléments minéraux a été abordée dans le

cadre du Programme Biologique International (BERNHARD-REVERSAT, 1975).

Le Framiré (*Terminalia ivorensis*) est une espèce en cours de plantation sur de grandes superficies en Côte-d'Ivoire. L'existence de plantations relativement anciennes a permis une comparaison avec la forêt environnante.

Ces recherches, faites au Centre ORSTOM d'Adiopodoumé, ont été menées dans des parcelles relevant des Eaux et Forêts de Côte-d'Ivoire (au parc national du Banco) et du CENTRE TECHNIQUE FORESTIER TROPICAL (à Yapo); certaines mesures ont été faites dans des plantations récentes de la SODEFOR. Nous remercions ici les responsables de ces divers organismes qui nous ont autorisée à travailler dans ces parcelles. Nous remercions également les chercheurs du C. T. F. T. de Côte-d'Ivoire qui nous ont apporté leurs connaissances et en particulier M. MALAGNOUX. Enfin nous remercions les chefs de chantier de la SODEFOR à l'Abbé et à l'Anguededou, qui ont tout fait pour nous faciliter le travail.

DESCRIPTION DES SITES ET DES PARCELLES

GÉNÉRALITÉS

Les sites étudiés se situent au Sud de la Côte-d'Ivoire, en zone de forêt humide sempervirente.

Le climat du sud de la Côte-d'Ivoire est de type subéquatorial humide caractérisé par deux saisons des pluies, la pluviosité annuelle moyenne étant de 1.800 à 2.100 mm.

Les deux zones pédologiques étudiées correspondent à des sols ferrallitiques fortement désaturés. Sur sables tertiaires continentaux (forêt du Banco) le sol est sableux à sablo-argileux ; sur schistes birrimiens (forêt de Yapo) la texture est argilo-sableuse à argileuse avec un horizon gravillonnaire développé et une teneur en bases plus élevée que sur les sables.

La végétation naturelle correspond à deux associations végétales décrites par le professeur G. MANGENOT (1955). Cependant parmi les arbres les espèces communes aux deux groupements sont nombreuses et abondantes.

Les parcelles de forêt ont été décrites précédemment (HUTTEL, 1975). Il s'agit de forêt ancienne soumise autrefois à l'exploitation forestière.

La parcelle de Framiré étudiée au Banco se trouve au sud-est du parc national et porte le n° E 36. Plantée en 1936, elle était âgée de 38 ans quand ces recherches ont été faites. Elle s'étend sur environ 2 ha dans lesquels une surface de 2.500 m² (50 m × 50 m) a été délimitée.

En forêt de Yapo la parcelle est incluse dans la forêt classée, au bord de la route d'Agboville ; elle porte le n° A 52, et couvre également environ 2 ha. Plantée en 1952 elle est âgée de 22 ans.

Une plantation de 8 ans, située à l'Abbé, à proximité de Yapo, a été utilisée pour des mesures concernant l'azote du sol.

COMPOSITION FLORISTIQUE DES PLANTATIONS

Sur les parcelles de 2.500 m² la détermination de tous les arbres de plus de 40 cm de circonférence a été faite. La liste des espèces présentes est donnée dans le tableau 1.

On note la dominance dans les deux parcelles, après le Framiré, de *Funtumia africana*. Cette espèce se rencontre en forêt, mais en faible densité. VAN DORN (1973), étudiant les recrûs secondaires sur sables tertiaires, note que cette espèce se trouve dans les forêts secondaires de plus de 15 ans, mais ne semble pas l'avoir trouvée en grande quantité.

TABLEAU 1

LISTE DES ESPÈCES D'ARBRES DE PLUS DE 40 CM DE CIRCONFÉRENCE RELEVÉES SUR 2.500 m², EN PLANTATIONS DE FRAMIRÉ

Nbre	Banco	Nbre	Yapo
30	<i>Terminalia ivorensis</i>	42	<i>Terminalia ivorensis</i>
23	<i>Funtumia africana</i>	26	<i>Funtumia africana</i>
14	<i>Combretodendron africanum</i>	17	<i>Nauclea diderrichii</i>
6	<i>Tabernaemontana crassa</i>	9	<i>Allanblackia floribunda</i>
5	<i>Chrysophyllum subnudum</i>	6	<i>Musanga cecropioides</i>
5	<i>Macaranga huraeifolia</i>	2	<i>Dialium aubrevillei</i>
5	<i>Piptadeniastrum africanum</i>	2	<i>Fagara macrophylla</i>
3	<i>Elaeis guineensis</i>	2	<i>Strephonema pseudocola</i>
2	<i>Antiaris africana</i>	1	<i>Actea barleri</i>
2	<i>Guarea cedrata</i>	1	<i>Aidia gentiifolia</i>
1	<i>Allanblackia floribunda</i>	1	<i>Anthocheista vogelii</i>
1	<i>Anopixis klaineana</i>	1	<i>Alstonia congensis</i>
1	<i>Bombax buonopozense</i>	1	<i>Celiba pentadra</i>
1	<i>Enantia polycarpa</i>	1	<i>Coryanthe pachyceras</i>
1	<i>Uapaca guineensis</i>	1	<i>Daeryodes klaineana</i>
1	<i>Xylopia standtii</i>	1	<i>Erythraephleum ivorensis</i>
1	<i>Xylopia villosa</i>	1	<i>Picus exasperata</i>
		1	<i>Ricinodendron heudelotii</i>
		1	<i>Stereulia tragachenta</i>
		1	<i>Trichilia sp.</i>
		1	<i>Octaknema borealis</i>

Les deux autres espèces abondantes, *Combretodendron africanum* au Banco et *Nauclea diderrichii* à Yapo, sont également représentées en faible nombre en forêt. Les espèces les plus abondantes en forêt ne se rencontrent pas ou peu dans ces parcelles.

Floristiquement pauvres, ces parcelles sont caractéristiques de la végétation secondaire par beaucoup des espèces présentes.

DONNÉES SUR LA STRUCTURE

Le tableau 2 montre que la structure des plantations diffère de celle de la forêt par une densité plus élevée et une aire basale plus faible, caractéristiques de peuplements plus jeunes.

La différence d'âge entre les deux stations se traduit de la même façon ; on l'observe également dans l'allure des diagrammes de circonférence (fig. 1), et on peut penser en particulier que l'absence de *Funtumia* de faible grosseur au Banco montre que cette espèce ne se régénère plus à l'âge atteint par cette parcelle.

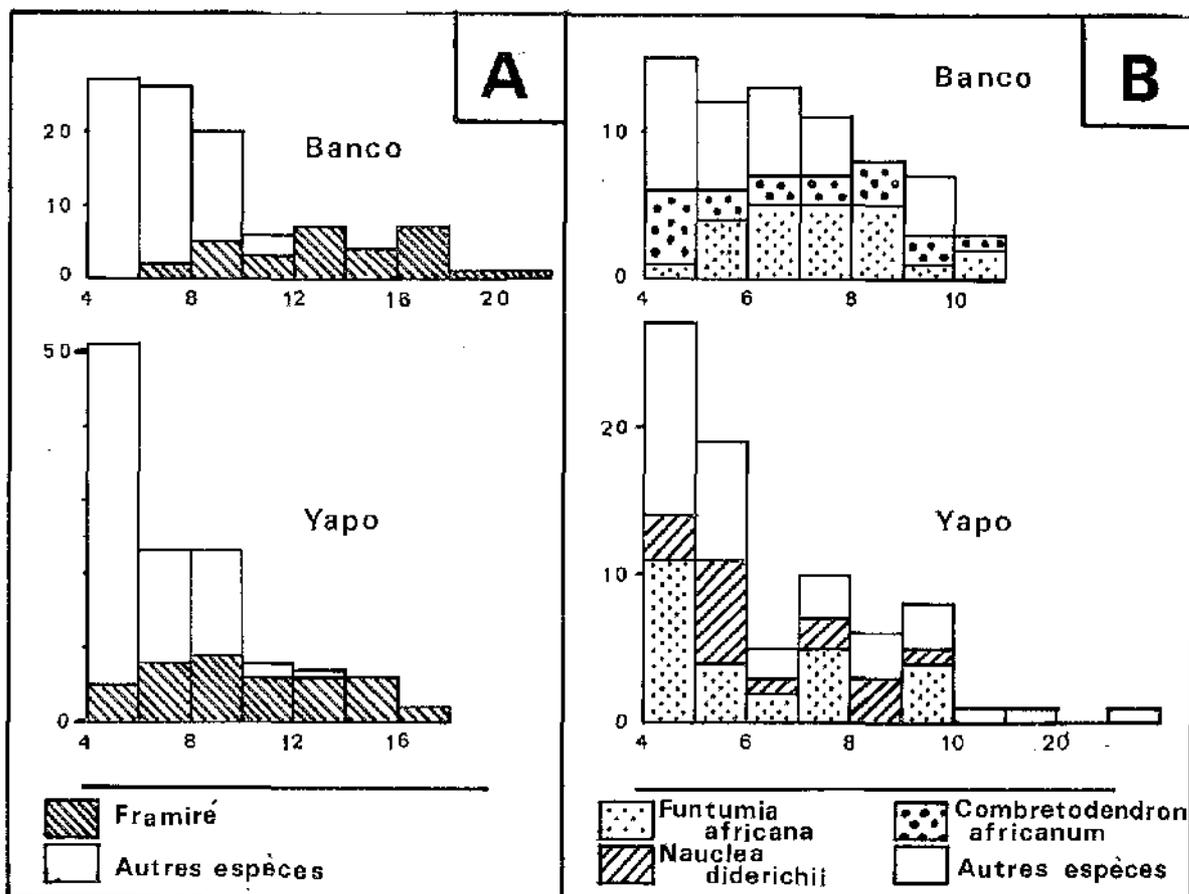


FIG. 1. — Histogramme des circonférences des troncs dans les plantations de Framiré. A. — Totalité des espèces (classes de 20 cm). B. — Espèces autres que le Framiré (Classes de 10 cm).

TABLEAU 2

DENSITÉ ET SURFACE TERRIÈRE
DANS LES PARCELLES DE FRAMIRÉ
ET EN FORÊT

	Banco		Yapo	
	Plantation	Forêt	Plantation	Forêt
Densité, arbres/ha	408	265	476	427
Surface terrière, m ² /ha	27,6	30	24,6	31
Densité framirés, arbres/ha	120	—	164	—
Surface terrière framirés, m ² /ha .	17,8	—	14,9	—

RÉSULTATS

RETOUR AU SOL D'ÉLÉMENTS MINÉRAUX PAR LA LITIÈRE

Production de litière.

Elle a été mesurée en plantation pendant un an dans chaque parcelle avec 10 cadres de 1 m², par des récoltes hebdomadaires. La figure 2 montre l'évolution de la quantité récoltée au cours de l'année. Les Framiré perdent la totalité de leurs feuilles de décembre à février puis restent environ 2 mois sans feuilles (l'aire naturelle de cette espèce est la forêt semi-décidue). Malgré la présence de cette dominante la chute de feuilles globale donne une courbe de répartition saisonnière proche de ce qui a été observé en forêt (BERNHARD, 1970).

Les quantités annuelles sont indiquées dans le tableau 3 et comparées aux résultats obtenus en

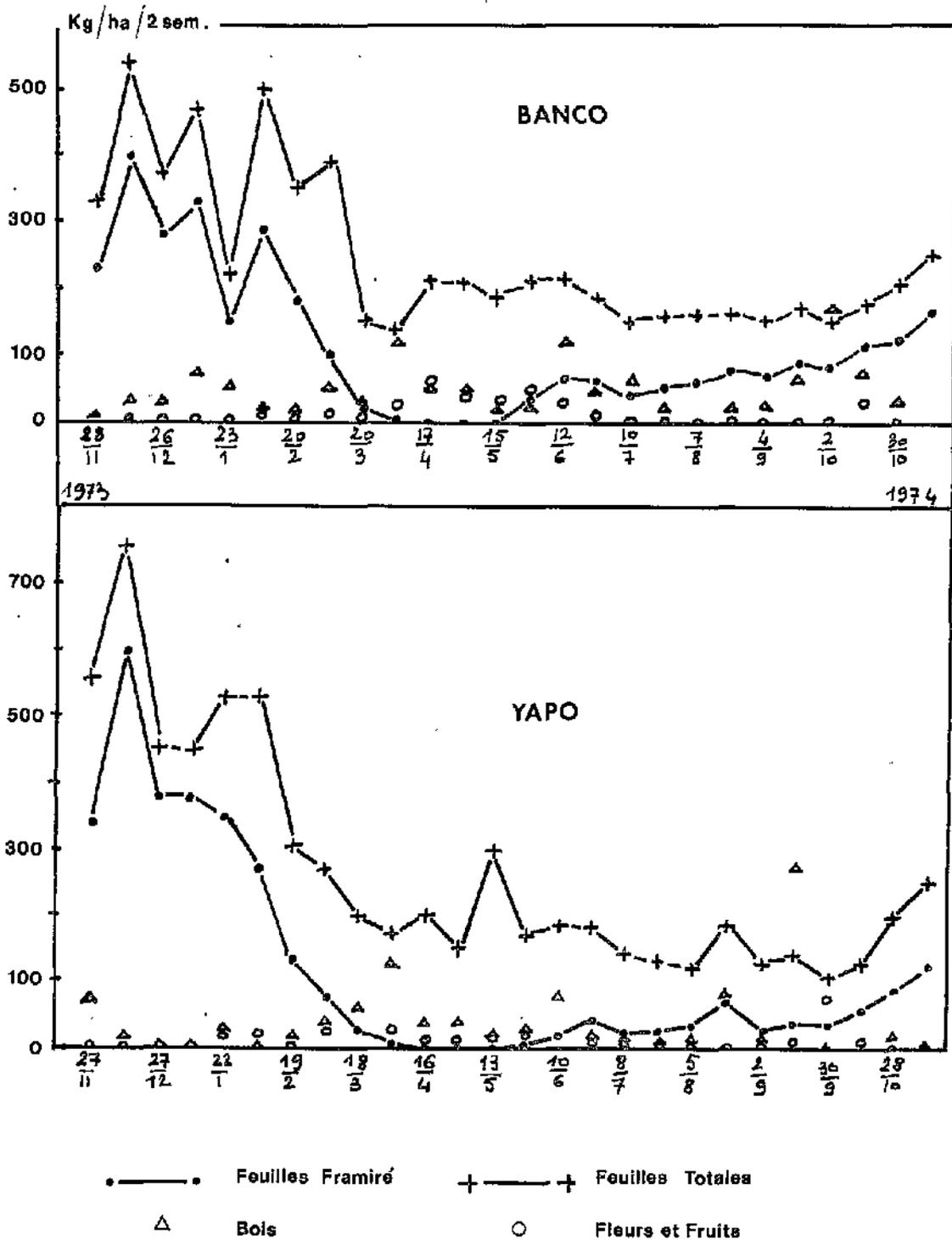


FIG. 2. — Chute de litière en plantations de Framiré, par périodes de 2 semaines.

forêt. Malgré des caractères structuraux de « jeunesse » les plantations ont une production de litière

qui n'est pas sensiblement inférieure à celle de la forêt.

Litière	Banco		Yapo	
	Plantation	Forêt	Plantation	Forêt
Feuilles Framiré	3.040 ± 40		3.270 ± 30	
Feuilles totales	6.540 ± 50	7.430	7.170 ± 75	7.120
Fruits et fleurs	350	665	350	1.050
Bois	1.400	1.090	1.120	1.450
Total	8.290	9.190	8.640	9.620

TABLEAU 3
CHUTE ANNUELLE DE LITIÈRE, EN kg/ha
(INTERVALLE DE CONFIANCE AU RISQUE 5 %).

La quantité de litière accumulée sur le sol a été mesurée toutes les 4 semaines (fig. 3). Une estimation de la vitesse de décomposition peut être donnée par le coefficient $K = A/L$ où A est l'apport annuel et L la quantité moyenne de litière sur le sol

TABLEAU 4
MOYENNES PONDÉRÉES DES TENEURS EN ÉLÉMENTS MINÉRAUX DE LA LITIÈRE,
EN % DU POIDS SEC

Site			N	P	K	Ca	Mg
PLANTATIONS	Banco	Feuilles Framiré	1,85	0,121	0,27	0,63	0,43
		Autres feuilles	2,37	0,106	0,53	1,01	0,54
		Moyennes feuilles	2,02	0,113	0,41	0,83	0,48
		Fleurs et fruits	2,26	0,160	1,21	0,29	0,26
		Bois	1,00	0,046	0,13	0,69	0,18
	Yapo	Feuilles Framiré	1,23	0,040	0,34	1,10	0,27
		Autres feuilles	1,47	0,050	0,63	1,57	0,34
		Moyennes feuilles	1,33	0,047	0,51	1,34	0,30
		Fleurs et fruits	1,23	0,074	1,29	0,35	0,19
		Bois	0,82	0,027	0,22	1,80	0,23
FORÊT	Banco	Feuilles	1,80	0,158	0,91	0,95	0,41
	Yapo	Feuilles	1,40	0,050	0,28	1,32	0,29

FIG. 3. — Accumulation de litière sur le sol dans les plantations de Framiré. Les traits verticaux indiquent l'étendue de l'intervalle de confiance (au risque 5 %).

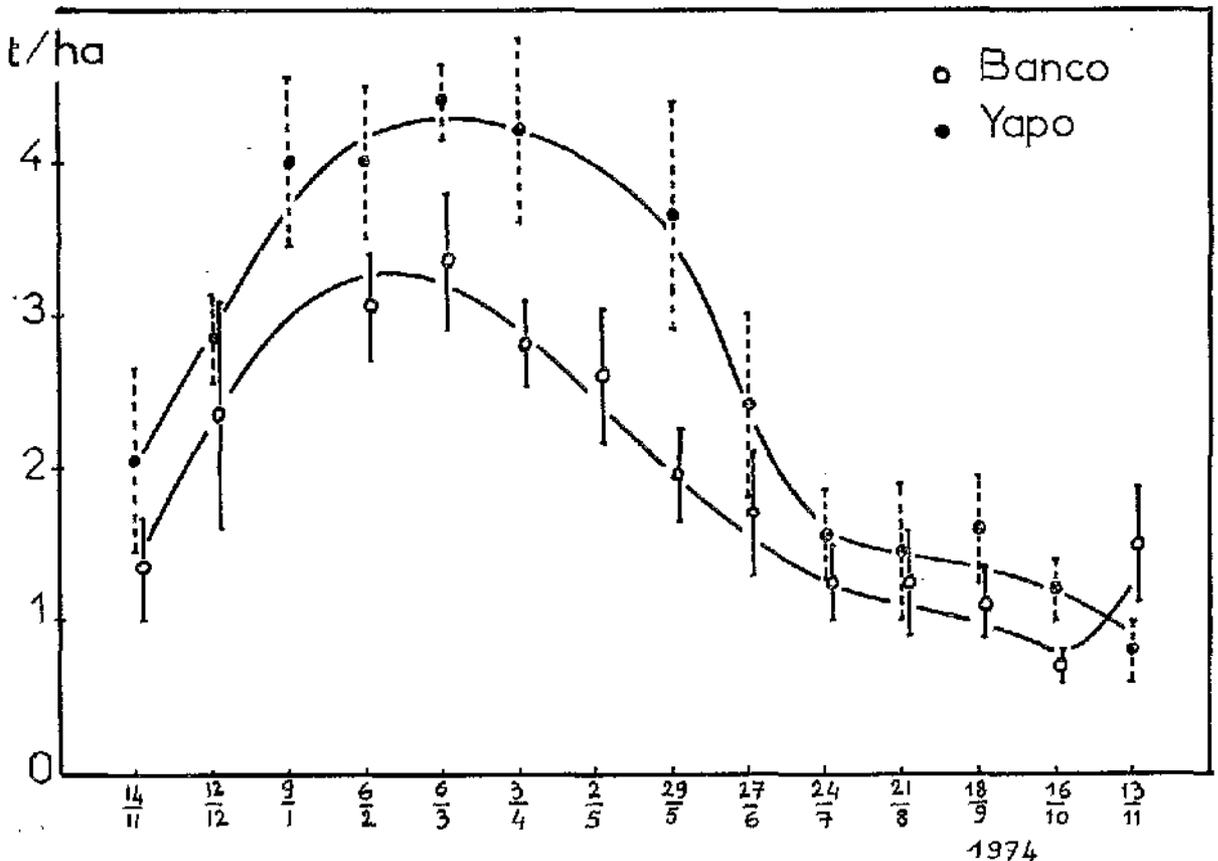


FIG. 4. — Quantités d'éléments minéraux apportés au sol par les eaux d'égouttement en fonction de l'intensité des précipitations dans les plantations de Framiré.

(OLSON, 1963). Les valeurs de *K* obtenues dans les parcelles étudiées sont les suivantes :

BANCO : 3,2 sous Framiré et 4,2 en forêt,
YAPO : 2,5 sous Framiré et 3,6 en forêt.

La présence de tannins dans les plantes de la famille des Combrétacées est connue depuis longtemps. L'effet dépressif de ces substances a été démontré (BENOIT *et al.*, 1968) et pourrait être la cause d'une décomposition plus lente dans les plantations qu'en forêt. Cependant la vitesse de décomposition dans les premières reste de l'ordre de grandeur de ce que l'on observe généralement en forêts tropicales et la litière ne s'accumule pas sur le sol d'une année à l'autre.

Les éléments minéraux dans la litière.

Les analyses concernant les plantations ont été faites en regroupant la litière de 8 semaines consécutives, la variabilité saisonnière est relativement faible. Les teneurs moyennes sont données dans le tableau n° 4.

On note que le site a une grande influence sur la composition chimique des litières. Les teneurs en éléments minéraux de la litière de feuilles sont identiques à Yapo, en plantation et dans la forêt, ce qui est remarquable étant donné les différences floristiques. Au Banco, il n'en n'est pas de même.

L'apport annuel a été calculé au tableau 5. Là encore on observe la similitude existant entre plantation et forêt à Yapo, seul le potassium montrant une différence appréciable.

TABLEAU 5
APPORT D'ÉLÉMENTS MINÉRAUX
PAR LITIÈRE TOTALE EN kg/ha/an

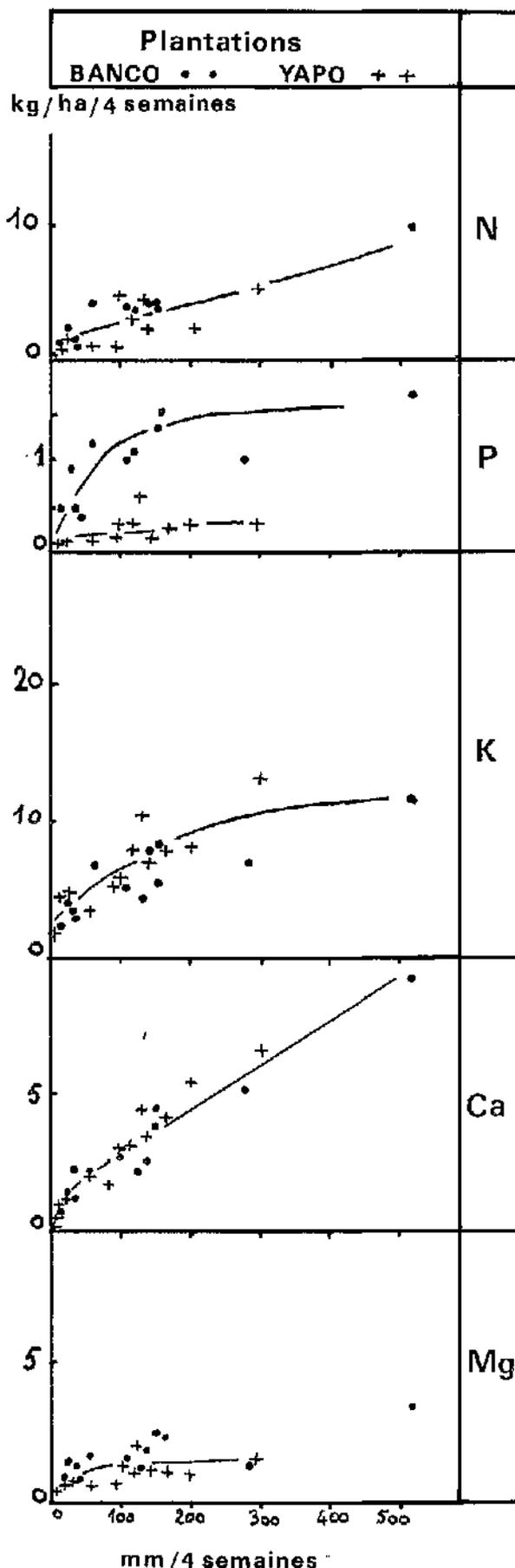
	N	P	K	Ca	Mg
Banco Plantation	156	8,5	33	65	35
Forêt	158	13,6	80	85	35
Yapo Plantation	112	3,8	42	120	26
Forêt	113	4,2	28	105	22

RETOUR AU SOL PAR LE PLUVIO-LESSIVAGE

Les eaux de pluie sous couvert ont été recueillies chaque semaine et analysées au cours de l'année en réunissant les prélèvements par 4 semaines.

La figure 4 montre qu'il existe une relation entre la quantité de pluie par unité de temps et la quantité d'éléments minéraux qu'elle contient. Le type de relation est fonction de l'élément considéré, comme cela avait été observé en forêt (BERNHARD-REVERSAT, 1975).

Les quantités d'éléments minéraux lessivés sur la végétation, annuellement, figurent dans le tableau 6 avec celles qui sont apportées de l'atmo-



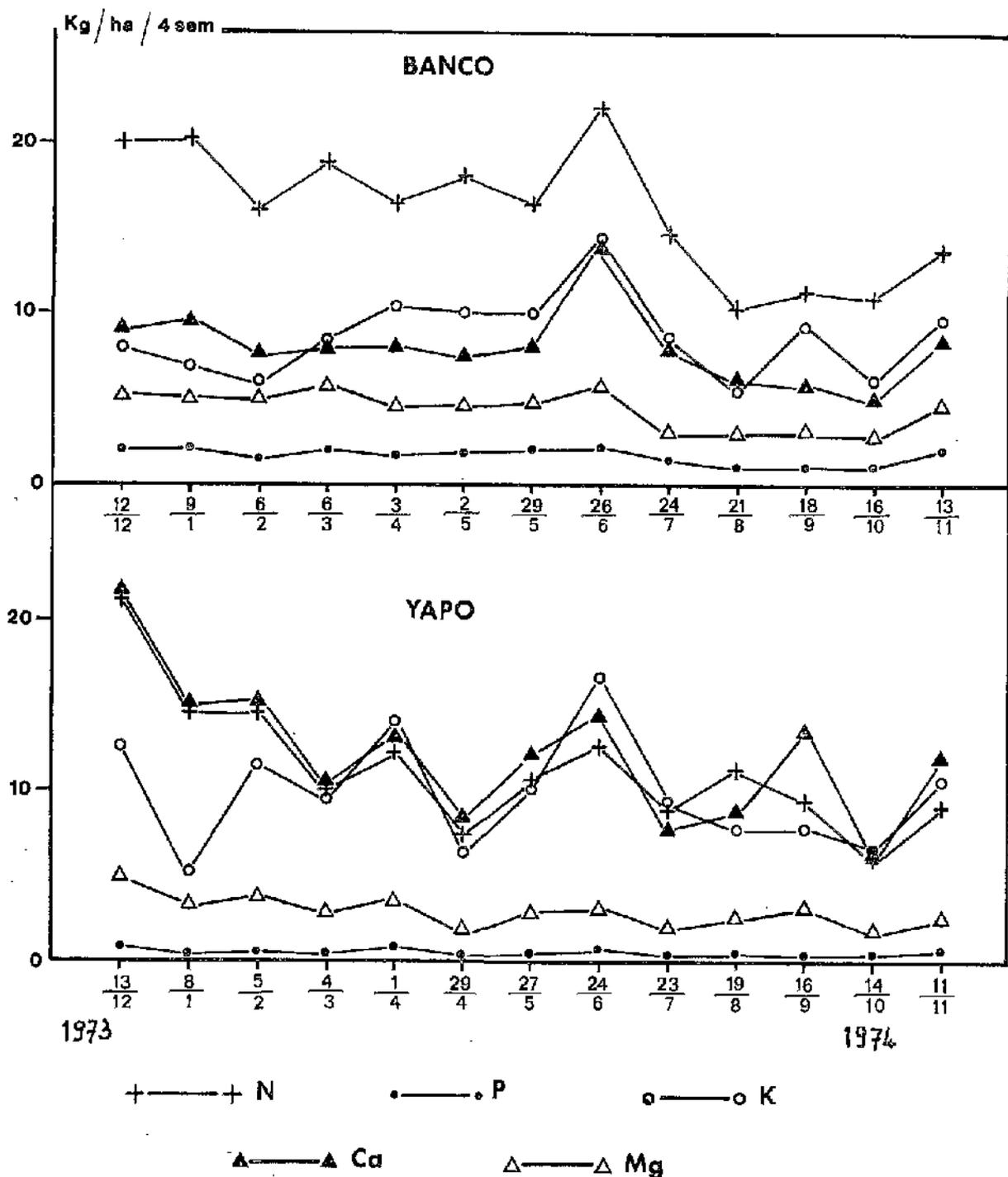


FIG. 5. — Apport total au sol d'éléments minéraux par la chute de litière et les eaux d'égouttement dans les plantations de *Prunier*.

sphère par la pluie, ces dernières calculées d'après les résultats de ROOSE (1974), MATHIEU *et al.* (1960) et les nôtres.

La figure 5 indique l'apport total au sol (pluie + pluiolessivage + litière) au cours de l'année en plantation.

LES RÉSERVES DU SOL

Les cations échangeables.

On sait que les teneurs en cations échangeables sont très variables dans le temps et dans l'espace ;

TABLEAU 6
ÉLÉMENTS MINÉRAUX
APPORTÉS PAR LES PLUIES,
ET LESSIVÉS SUR LA VÉGÉTATION,
EN kg/ha/an

		N	P	K	Ca	Mg
Pluie à découvert		21	0,5	5,5	16	7
Pluies lavage	Banco					
	Plantation	31	13	75	25	14
	Forêt	80	10	170	31	41
Yapo						
Plantation	15	3	81	24	6	
Forêt	13	6	82	19	16	

le tableau 7 donne à titre indicatif les résultats d'analyses faites en juillet sur 6 prélèvements par horizon. Les moyennes obtenues mettent en évidence la pauvreté des sols sableux du Banco.

Les réserves ainsi constituées dans les 50 premiers cm du sol figurent dans le tableau 8 mais ne représentent qu'une estimation approximative ; des analyses répétées à différentes saisons étant indispensables pour une estimation plus exacte.

Ces résultats malgré leur imprécision semblent indiquer un appauvrissement du sol sous plantation, en particulier au Banco, mais également à Yapo en ce qui concerne le calcium.

TABLEAU 8
RÉSERVES DES SOLS
EN CATIONS ÉCHANGEABLES, kg/ga

Parcelle		Ca	Mg	K
Banco	Plantation	20	30	120
	Forêt	200	110	160
Yapo	Plantation	190	150	90
	Forêt (1)	370	150	100

Carbone et azote.

L'accumulation de matière organique dans le sol est plus élevée sous plantation qu'en forêt. Le tableau 9 montre qu'au Banco la différence n'est significative que dans l'horizon superficiel.

A Yapo la quantité de matière organique entre 0 et 10 cm est de 30 à 40 % plus élevée sous plantation.

Ceci est à rapprocher de la décomposition plus lente de la litière sous Framiré.

La teneur en azote total du sol a fait l'objet de peu de mesures en plantation ; cependant les

(1) Différentes des résultats moyens calculés pour la forêt (BERNHARD-REVERSAT 1975) ces valeurs correspondent à des prélèvements faits le même jour qu'en plantation et analysés en même temps.

TABLEAU 7
TENUEURS DES SOLS DES PLANTATIONS EN CATIONS ÉCHANGEABLES (JUILLET)

	Horizon (cm)	még/100 g			Capacité d'échange (még/100 g)	Taux de saturation
		Ca	Mg	K		
Banco	0-10	0,03	0,21	0,08	5,3	5,2
	10-30	0,02	0,10	0,05	5,8	3,0
	30-50	0,01	0,05	0,03	4,3	2,0
Yapo	0-10	0,38	0,44	0,08	5,6	15,0
	10-20	0,14	0,20	0,04	4,8	8,3
	30-50	0,13	0,21	0,04	5,0	7,9

TABLEAU 9
RÉPARTITION DE LA MATIÈRE ORGANIQUE DU SOL DANS LES PARCELLES DU BANCO,
MESURÉE PAR LA PERTE AU FEU

Horizon	0-3 cm		3-10 cm		10-30 cm	
	P	F	P	F	P	F
Parcelle (*)						
Nombre de répétitions	12	19	12	19	12	10
Moyenne % sol sec	6,3	4,2	4,2	3,4	3,8	3,3
Ecart type à la moyenne	0,5	0,4	0,3	0,4	0,2	0,3
Signification	Risque 1 %		Nulle		Nulle	

* P = Plantation, F = Forêt.

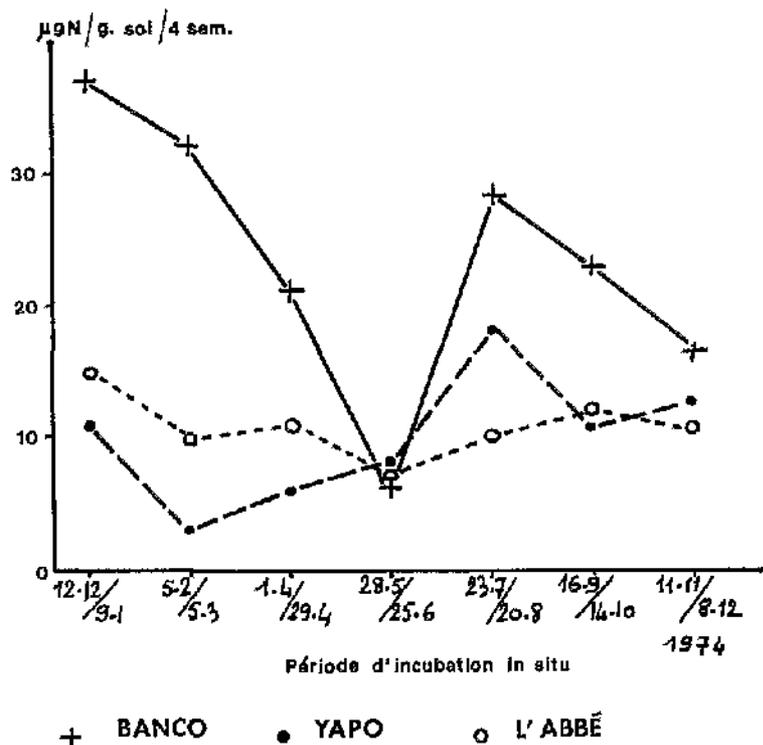


FIG. 6. — Production d'azote minéral in situ dans l'horizon 0-10 cm durant des incubations de 4 semaines en plantations de Framiré (exprimée par rapport à la terre fine).

Etude de la minéralisation de l'azote in situ.

a) Minéralisation dans la litière.

La production d'azote minéral dans la litière accumulée sur le sol des plantations a été mesurée dans des cadres de 0,25 m² recouverts d'un toit. Ces mesures faites à deux reprises seulement (décembre et mai) pendant 4 semaines ne permettent pas une estimation précise de la production annuelle. Elles permettent d'estimer que cette production est inférieure à celle qui a été observée en forêt, qu'elle est pratiquement inexistante dans la plantation de Yapo et représente environ 10 kg/ha/an au Banco.

b) Minéralisation dans l'horizon superficiel (0-10 cm).

Elle a été mesurée au moyen de boîtes mises dans le sol selon une technique déjà décrite (BERNHARD-REVERSAT, 1974). Une jeune plantation de 8 ans (L'Abbé) a été ajoutée aux deux plantations étudiées. Les incubations de 4 semaines ont été faites toutes les 8 semaines.

La production d'azote minéral au cours de l'année est donnée par la figure 6. Elle est relativement plus régulière dans la jeune plantation que dans celles qui sont plus anciennes ; au Banco la chute observée en juin, et qui correspond à une saison des pluies particulièrement intense, peut résulter soit d'une période de dénitrification due à la saturation en eau du sol, soit à des pertes par lixiviation des nitrates malgré le dispositif utilisé.

Les valeurs moyennes obtenues ont été multipliées par 13 pour calculer les valeurs annuelles. Des estimations de la densité du sol ainsi qu'un coefficient de correction pour les graviers à Yapo

différences observées avec les résultats obtenus en forêt sont suffisamment élevées pour qu'on puisse admettre que l'accumulation d'azote sous Framiré est beaucoup plus importante que sous forêt comme le montre le tableau 10.

TABLEAU 10
L'AZOTE TOTAL DANS LE SOL SUPERFICIEL (0-10 cm)

		Nombre de mesures	Teneur %	Quantité kg/ha	C/N
Banco	Plantation	28	2,04	2.200	14,8
	Forêt	2	0,96	1.200	13,8
Yapo	Plantation ..	19	1,96*	2.600	13,8
	Forêt	2	2,94*	1.600	13,8

en % de la terre fine.

TABLEAU 11
PRODUCTION D'AZOTE MINÉRAL DANS L'HORIZON 0-10 cm

		N NO ₂ µg/g/4 semaines	N minéral total µg/g/4 semaines	N minéral total kg/ha/an	Taux annuel % de N total
Banco	Plantation	21,2	24,6	350	15,6
	Forêt	9,2	9,4	156	12,5
Yapo	Plantation	9,7	9,3	160	6,2
	Forêt	18,0	18,3	125	8,0
L'Abbé		11,3	10,6	—	9,3

ont été utilisés pour calculer la production par ha. Les résultats sont donnés au tableau 11.

Ces résultats montrent une différence importante entre les plantations du Banco et de Yapo, le taux de minéralisation annuelle étant 2,5 fois plus élevé au Banco. Dans une moindre mesure ce phénomène avait été observé en forêt et la nature du sol est donc en partie responsable : les molécules organiques sont mieux protégées de la dégradation dans le sol argileux de Yapo que dans le sol sableux du Banco.

Au tableau 12 on a tenté d'établir le bilan annuel. Si en forêt le retour au sol d'azote organique semble équilibrer ou être un peu supérieur à la minéralisation, en plantation et particulièrement au Banco la production d'azote minéral est nettement supérieure à l'apport d'azote organique.

Ces résultats, qui semblent traduire une instabilité du système, seront discutés plus loin.

TABLEAU 12
BILAN ANNUEL DU CYCLE DE L'AZOTE
EN PLANTATIONS DE FRAMIRÉ,
EXPRIMÉ EN kg/ha/an

Source d'N organique	Banco	Yapo
Litière (*)	154	112
Eaux de pluie sous couvert (*)	31	26
Total	186	138
Minéralisé : sol (0-10 cm) + litière	360	160
(*) en excluant l'N minéral des données précédentes		

DISCUSSION

L'impression d'un milieu proche de la forêt naturelle ressentie lorsqu'on pénètre dans une plantation ancienne, comme celle du Banco, est confirmée par la quantité de litière récoltée annuellement : celle-ci est peu différente de ce que l'on trouve en forêt, indiquant que la surface foliaire est du même ordre.

Au niveau des cycles biogéochimiques, cela se traduit par une circulation d'éléments minéraux dans l'écosystème de la même importance qu'en forêt. Ce retour relativement rapide à l'état initial, en ce qui concerne les flux entre végétation et sol, après une perturbation profonde, indique une certaine stabilité du système de la forêt ombrophile (JORDAN *et al.*, 1972). D'autres études menées en plantations de type forestier en zone intertropicale confirment l'importance des flux même dans des peuplements relativement jeunes (tableau 13).

CYCLE DES CATIONS

Il semble cependant que dans les plantations étudiées ici l'intensité des flux de cations soit rétablie aux dépens des réserves du sol. Celles-ci doivent également fournir les éléments minéraux immobilisés par la croissance des arbres qui est plus importante qu'en forêt ; ceci concerne essentiellement l'azote et le calcium, prédominants dans le bois. On a pu estimer l'immobilisation annuelle de calcium à 17 kg/ha/an en plantation et 9 kg en forêt au Banco, et à 41 kg/ha/an en plantation et 23 kg en forêt à Yapo. Enfin des pertes d'éléments minéraux par lixiviation au moment du défrichage et pendant les premières années de la plantation ont certainement eu lieu.

Il en résulte un appauvrissement sensible du sol sous Framiré au Banco. Ce phénomène est moins

TABLEAU 13
APPORT AU SOL DE LITIÈRE ET D'ÉLÉMENTS MINÉRAUX
DANS QUELQUES PLANTATIONS DE TYPE FORESTIER

Auteurs	Lieu et végétation	Litière annuelle t/ha/an	Kg/ha/an				
			N	P	K	Ca	Mg
MITCHEL, cité par BRAY <i>et al.</i> , 1964	Malaisie (*), 28 ans Dipterocarpacees	9,8 à 10,3					
MAHEUT <i>et al.</i> , 1960	Sénégal (**), Teck 4 ans	5,8	38	6	39	132	15
	8 ans	4,7	44	3	31	55	13
BOYER, 1973	Cameroun (*), Cacaoyer 30 ans	6,0	52	4	38	89	26
(*) Litière totale		(**) Litière de feuilles.					

évident à Yapo où la sol plus riche est plus apte à compenser les pertes, et est moins susceptible de lixiviation.

Sur un sol pauvre pourra se poser un problème de concurrence interspécifique ; en effet, le tableau 14 montre que 50 à 70 % des éléments minéraux de la litière sont mis en circulation, et donc absorbés, par des espèces autres que le Framiré qui ont colonisé la plantation.

TABLEAU 14

RÉPARTITION DE L'APPORT
PAR LES LITIÈRES DE FEUILLES
SOUS FRAMIRÉ, EN kg/ha/an

Site	Litière	N	P	K	Ca	Mg
Banco	Framiré	50	4	8	19	13
	Autres sp.	33	4	19	35	19
Yapo	Framiré.....	40	1	11	38	9
	Autres sp.	58	2	25	61	13

L'immobilisation dans le bois se fait par contre à 70-75 % par les Framiré. L'exploitation de cette espèce à l'âge actuel des plantations exporterait une grande partie des cations circulant dans l'écosystème : soit environ 50 % du potassium, 60 à 70 % du calcium, 20 à 50 % du magnésium.

CYCLE DE L'AZOTE

On observe une nette différence entre la production d'azote minéral dans le sol, dans les parcelles du Banco, d'une part, et dans les parcelles de Yapo, d'autre part. Cette opposition a été discutée ailleurs (BERNHARD-REVERSAT, 1975b) et semble résulter de la formation de complexes argilo-humiques protégeant les protéines de la dégradation, et également d'une action des litières mise en évidence par l'absence de minéralisation importante dans celles-ci à Yapo ; il est possible que des polyphénols des feuilles interviennent pour former des complexes résistants avec les protéines (COULSON *et al.*, 1960).

L'effet des litières des plantations a été observé en les utilisant sous forme d'extraits aqueux faits à

partir de feuilles fraîchement tombées et ajoutés à un même sol. Le tableau 15 met bien en évidence une action inhibitrice plus marquée avec la litière de Yapo, et également plus importante avec les feuilles de Framiré qu'avec les autres feuilles.

Deux hypothèses sont possibles : l'une suppose une immobilisation de l'azote par les micro-organismes décomposant la matière organique ajoutée (MAHEUT et DOMMERGUES, 1960). L'autre suppose la présence de substances complexant les protéines qui pourraient être des polyphénols. BERNIER et ROBERGE (1962) ont montré que ces deux phénomènes pouvaient agir ensemble et suggèrent que la stabilité des complexes formés varie en fonction du type d'humus.

Quelle qu'en soit l'origine, cette inhibition qui contribue à rendre compte de la faible minéralisation à Yapo, laisserait prévoir également un ralentissement de la minéralisation en plantation par rapport à la forêt. C'est ce que l'on observe à Yapo où le taux de minéralisation, exprimé par g de terre fine ou par rapport à l'azote total est plus faible en plantation (la plus forte production annuelle d'azote minéral dans celles-ci résultant d'un stock d'azote organique plus élevé qu'en forêt). Au cours de l'année la minéralisation *in situ* a montré une relation négative avec l'accumulation de litière sur le sol (établie cependant avec trop peu de mesures pour affirmer qu'elle est significative) qui pourrait être une confirmation de l'effet de la litière.

Cependant au Banco le taux de minéralisation est au contraire plus élevé en plantation qu'en forêt, et l'origine de cette stimulation n'a pas été élucidée.

Le bilan annuel montre en plantation une production d'azote minéral plus élevée que l'apport annuel d'azote organique au sol (deux fois plus élevée au Banco). Le système constitué par les plantations n'est donc pas en équilibre ; à moins d'envisager une fixation d'azote (qui serait de 170 kg/ha/an au Banco, ce qui semble excessif), on peut supposer une minéralisation progressive du stock d'azote organique du sol. On a montré que ce stock était plus grand sous plantation que sous forêt, contrairement à ce qu'ont observé ROBINSON (1960) et MAHEUT et DOMMERGUES (1960). Ceci semble indiquer l'existence d'une phase antérieure

TABLEAU 15

MINÉRALISATION DE L'AZOTE DANS DU SOL
ADDITIONNÉ D'EXTRAITS DE LITIÈRES DES PLANTATIONS, EN $\mu\text{g N/g SOL SEC}$

Forme de N		Sol témoin	Feuilles du Banco		Feuilles de Yapo	
			Framiré	Autres	Framiré	Autres
Teneur initiale	N minéral total	11,2	17,1	16,9	18,0	14,6
Gain/10 jours	N-NO ₃	18,0	11,8	9,7	10,8	10,1
	N minéral total	16,5	3,6	8,5	1,7	2,8

d'accumulation d'azote dans le sol, et de RHAM (1973) estime que la reconstitution du climax à partir de la forêt secondaire passe par une phase de faible minéralisation (1). Dans les plantations étudiées ici la phase d'accumulation serait suivie d'une phase de dégradation du stock.

La question se pose alors, surtout à propos de la plantation du Banco, du devenir de l'azote minéral excédentaire qui ne s'accumule pas dans le sol. Les données recueillies ne permettent pas d'apprécier

les différentes possibilités : immobilisation dans le bois, pertes par lixiviation, pertes sous forme gazeuse.

Enfin, il faut souligner que l'importance de la minéralisation est restreinte par l'importance des flux dans la végétation : l'absorption d'azote par la végétation en plantation du Banco est sensiblement plus élevée que dans la plantation de Yapo ; elle a pu être estimée (1) à 200 kg/ha/an dans la première, et à 140 kg/ha/an dans la deuxième.

CONCLUSIONS

Il faut rappeler que les plantations ne sont pas des systèmes en équilibre et qu'il manque à notre étude une dimension dans le temps permettant de suivre leur évolution.

La complexité des cycles biogéochimiques en milieu forestier ombrophile est grande, et nous n'avons pu aborder que les principales phases des cycles internes à l'écosystème. Cependant les données apportées mettent en évidence certaines différences entre la forêt naturelle et la forêt artificielle qu'est une plantation. Il semble que ces différences soient en définitive peu importantes en ce qui concerne les échanges d'éléments minéraux entre le sol et la végétation ; par contre au niveau du sol la perturbation a un effet plus marqué.

De plus, ce travail permet d'apporter, dans une modeste mesure, quelques éléments d'information concernant le problème de l'aptitude forestière des sols considérés. Une estimation de la fertilité des

sols de Côte-d'Ivoire a été faite par DABIN (1964), puis par PERRAUD (1971) en fonction de leurs propriétés physiques, celles-ci étant bonnes sur les sables tertiaires, mauvaises ou médiocres sur les schistes. Nous avons montré que la végétation de type forestier bénéficiait également, sur les sables tertiaires, d'une nutrition azotée meilleure que sur les schistes ; par contre les réserves du sol en cations pourront s'épuiser plus rapidement dans le premier cas. Ainsi les sols du type du Banco semblent favorables pour une première plantation à une espèce tolérante aux conditions hydriques comme le Framiré (SARLIN, 1969), mais leur faible étendue et leur situation géographique ne les destinent pas à cette utilisation. Les sols argileux sur schistes paraissent moins favorables aux plantations monospécifiques dont les litières peuvent avoir une influence néfaste, et ils fournissent aussi une nutrition azotée médiocre.

BIBLIOGRAPHIE

- BENOIT (R. E.), STANKLEY (R. L.) et BASARABA (J.) (1968). — Effect of purified plant tannin on decomposition of some organic compounds and plant materials. *Soil Sci.*, **105**, 153-158.
- BERNHARD (F.) (1970). — Etude de la litière et de sa contribution au cycle des éléments minéraux en forêt ombrophile de Côte-d'Ivoire. *Ecol. Plant.*, **5**, 247-286.
- BERNHARD-REVERSAT (F.) (1974). — L'azote du sol et sa participation au cycle biogéochimique en forêt ombrophile de Côte-d'Ivoire. *Rev. Ecol. Biol. sol.*, **11**, 263-282.
- BERNHARD-REVERSAT (F.) (1975). — Recherches sur l'écosystème de la forêt sub-équatoriale de basse Côte-d'Ivoire. VI. Les cycles des macroéléments. *La Terre et la Vie*, **29**, 229-254.
- BERNHARD-REVERSAT (F.) (1975 b). — Recherches sur les cycles biogéochimiques des éléments minéraux majeurs en milieu forestier sub-équatorial (Côte-d'Ivoire). Thèse, Orsay, Multigr., 124 p.
- BERNIER (B.) et ROBERGE (M. R.) (1962). — Etude *in vitro* sur la minéralisation de l'azote organique dans les humus forestiers. I. L'influence des litières forestières. *Fonds Rech. Forest. Univ. Laval*, contrib. n° 9, 47 p.
- CORNFORTH (I. S.) (1970). — Reafforestation and nutrient reserves in the humid tropics. *J. Appl. Ecol.*, **7**, 609-615.
- CORNFORTH (I. S.) (1971). — Nitrogen mineralisation in west indian soils. *Exp. Agric.*, **7**, 345-349.
- COULSON (C. B.), DAVIES (R. I.) et LEWIS (D. A.) (1960). — Polyphenols in plant, humus and soil. I. Polyphenols of leaves, litter and superficial humus from mull and moor sites. *J. Soil Sci.*, **11**, 20-29.
- DABIN (B.) (1964). — Analyse physique et fertilité dans les sols des régions humides en Côte-d'Ivoire. *Cahiers ORSTOM, sér. Pédol.*, **2**, 29-40.
- HUTTEL (C.) (1975). — Recherches sur l'écosystème de la forêt sub-équatoriale de Côte-d'Ivoire. III. Inventaire et structure de la végétation ligneuse. *La Terre et la Vie*, **29**, 178-191.

(1) Cette accumulation pourrait également résulter de l'incorporation de débris organiques lors de la destruction de la forêt initiale ; les informations sur les traitements subis par les parcelles à cette époque manquent.

(1) En additionnant : retour par la litière, retour par le pluviollessivage, accumulation dans le bois.

- JORDAN (C. F.) et KLINE (J. R.) (1972). — Mineral cycling: some basic concepts and their application in a tropical rain forest. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, **3**, 33-50.
- MAHEUT (J.) et DOMBERGUES (Y.) (1980). — Lesbeckeraies de Casamance, capacité de production des peuplements, caractéristiques biologiques et maintien du potentiel productif des sols. *Bois et Forêts des Tropiques*, n° 70, 25-42.
- MANGENOT (G.) (1955). — Etudes sur les forêts des plaines et plateaux de la Côte-d'Ivoire. *Etudes Eburnéennes*, IFAN, **4**, 5-61.
- MATHIEU (P.) et MONNET (C.) (1970). — Apports chimiques par les eaux de pluie en savane et sous forêt en climat intertropical (Côte-d'Ivoire). Rapport ORSTOM, Adiopodoumé, multigr. I, texte, 153 p., II, annexes, 45 p.
- OLSON (J. S.) (1963). — Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology*, **44**, 322-331.
- PERRAUD (A.) (1971). — Les sols, in : *le milieu naturel de la Côte-d'Ivoire*, mem. ORSTOM, n° 50, ORSTOM, Paris, 265-391.
- RHAM (P. de) (1973). — Recherches sur la minéralisation de l'azote dans les sols de savane de Lamto (Côte-d'Ivoire). *Rev. Ecol. Biol. Sol.*, **10**, 169-196.
- ROBINSON (J. B. D.) (1967). — The effect of exotic softwood crop on the chemical fertility of a tropical soil. *E. Afr. Agric. Forestry J.*, **33**, 173-191.
- ROOSE (E. J.) (1974). — Influence du type de sol et du niveau de fertilité sur la composition des eaux de drainage en climat tropical humide. *Comm. XIII^e Journ. hydraulique*, Paris, 1974.
- SARLIN (P.) (1969). — Répartition des espèces forestières de la Côte-d'Ivoire. *Bois et Forêts des Tropiques*, n° 126, 3-14.
- VAN DORN (J.) (1973). — Rapport de stage, ORSTOM, Adiopodoumé.



A NOS LECTEURS

Des impératifs de mise en page ne nous ont pas permis de publier dans ce numéro la suite de l'article de M. VOLATRON intitulé :

« La mise en valeur des richesses forestières en Amazonie brésilienne et en Colombie. »

Nous les prions de nous en excuser mais nous pouvons les assurer que la fin de cette étude sera présentée dans le numéro 168 (juillet-août) de *Bois et Forêts des Tropiques*.