

CYCLES DE LA MATIÈRE ORGANIQUE ET DES ÉLÉMENTS MINÉRAUX DANS UNE CACAOYÈRE CAMEROUNAISE

J. BOYER

*Maître de recherches principal de l'ORSTOM
Laboratoire de physiologie de l'IFCC au Cameroun*

INTRODUCTION

Dans l'écosystème forestier que constitue une plantation de cacaoyers (BOYER, 1971), il existe des échanges permanents d'énergie et de matière entre le milieu ambiant (sol, atmosphère) et la végétation. Mais si la forêt est caractérisée par une stabilité apparente due à l'équilibre qui s'établit naturellement entre ces composantes, il n'en est pas toujours de même pour la cacaoyère, culture industrielle où l'intervention humaine joue le plus grand rôle. Cette dernière ne sera profitable que si elle tient compte notamment du bilan des matières qui entrent en jeu dans le système sol-plante-air pour réalimenter constamment son propre cycle.

S'il existe beaucoup de travaux relatifs au cycle des éléments biogènes dans les écosystèmes forestiers des régions tempérées, parmi lesquels nous citerons les mises au point d'OVINGTON (1962), DUVIGNEAUD et DENAEYER-DE SMET (1964-1971), RODIN et BAZILEVICH (1967-1971), par contre, on ne

connaissait jusqu'à présent que très peu d'études relatives aux régions tropicales et équatoriales (JENNY, GESSEL et BINGHAM, 1944). L'intérêt porté à ces régions est donc récent et les recherches ont surtout été effectuées en Extrême-Orient (DILMY, 1971, KIRA et OGAWA, 1971 ; TSUTSUMI, 1971). Très peu d'auteurs également se sont intéressés aux grandes cultures tropicales, au cacaoyer en particulier : la présente étude est une contribution à ce problème, et s'intègre au thème général de recherches sur les facteurs écologiques de la productivité des cacaoyers, entreprises depuis 1967 au Centre de recherches de l'IFCC du Cameroun. Son but est d'essayer d'apporter quelques précisions quantitatives sur les phases les plus faciles à saisir du cycle minéral et organique qui se produit dans une plantation de cacaoyers, et qui influencent le plus les diverses étapes de leur développement conduisant à la production marchande finale.

MÉTHODES D'ÉTUDES ET DISPOSITIFS D'OBSERVATION

Le milieu extérieur, c'est-à-dire l'atmosphère et surtout le sol, constitue la source primaire des éléments majeurs indispensables étudiés : N, P, K, Ca et Mg. Un des termes du bilan, qui constitue le but de la présente étude, sera donc la détermination des quantités apportées par le milieu et susceptibles d'être utilisées par la plante, par analyses du sol de culture et des eaux météoriques recueillies à l'air libre.

La biocénose elle-même, par le jeu simultané du lessivage du couvert par les eaux de pluie (pluvioles-

sivage) et de la décomposition des litières de feuilles et autres débris végétaux qui jonchent le sol, réalement constamment son propre cycle en éléments organiques et minéraux.

Parallèlement à ces apports et restitutions, il s'effectue, comme dans tout écosystème, des pertes en éléments qui, dans le cas d'une culture, sont principalement dues aux exportations par les récoltes. Des phénomènes naturels peuvent également être la cause de pertes importantes : ruissellement, érosion et lessivage des horizons de culture des sols.

21 DEC. 1983
O. R. S. T. O. M. Fonds Documentaire

Café Cacao Thé, vol. XVII, n° 1, janvier-mars 1973

N° 4284
Cote B

15 JUN 1973
O. R. S. T. O. M.

4284
B
Collection de Référence
n° 6175 Bio & Hum

Ils sont difficilement appréciables en l'absence de toute étude pédologique suffisamment poussée. On peut cependant remarquer que dans ce type de cacaoyères les deux premiers facteurs sont vraisemblablement peu importants, sauf dans le cas où la plantation est située sur de fortes pentes et si elle est en mauvais état végétatif et sanitaire, avec de nombreux manquants qui laissent le sol à découvert. Le lessivage des horizons superficiels est souvent très important en zones tropicales humides si on dénude le sol ou qu'on le prive trop brutalement de sa couverture végétale. Dans le cas d'une cacaoyère âgée en bon état, où le chevelu radiculaire forme un réseau superficiel pouvant atteindre une grande densité, il est probable que ce phénomène est très ralenti. En outre, la texture du sol, riche en éléments fins et colloïdaux, ne favorise pas le drainage en profondeur.

Dans les écosystèmes forestiers, une partie souvent importante des éléments nutritifs se trouve également stockée dans la charpente des arbres (troncs et grosses branches). Bien que les teneurs dans les bois soient en général nettement inférieures à celles des parties restituables (feuilles, fruits, jeunes rameaux), les quantités qui se trouvent immobilisées peuvent être grandes étant donné le volume important de ces charpentes ligneuses. Nous les avons évaluées annuellement à partir des études de croissance en épaisseur, qui constituent l'un des éléments des observations relatives à l'activité végétative de ces cacaoyers.

Par conséquent, la connaissance de toutes ces composantes doit permettre d'établir un bilan qui pourra constituer une approche du problème des besoins des cacaoyers en éléments majeurs indispensables et de leur fertilisation minérale. Dans ce but, une petite cacaoyère de type familial (1,5 ha environ) a été choisie pour cette étude, car elle réunit la majorité des caractères typiques rencontrés dans cette zone culturelle camerounaise (BOYER, 1970-72). Comme dans tous les travaux que nous avons effectués jusqu'à présent, trois conditions différentes d'environnement ont été retenues, de façon à pouvoir établir s'il existe de nettes différences stationnelles d'un point à un autre d'une même plantation :

- absence d'ombrage,
- ombrage léger,
- ombrage moyen ou « modéré ».

Les résultats que nous donnons ici portent essentiellement sur les deux conditions extrêmes, afin de pouvoir mettre en évidence ces différences, lorsqu'elles existent. Dans ce type de plantation, tous les intermédiaires possibles existent en effet entre l'absence totale d'ombrage naturel (qui tend à disparaître) et l'ombrage modéré.

Le pluviollessivage est étudié dans deux parcs

grillagés situés dans chacune de ces deux conditions types. Quatre-vingt-deux récipients collecteurs sont répartis dans chacun d'eux, sur une surface d'environ 100 m². Ils sont constitués par des seaux en matière plastique ayant chacun une surface réceptrice de 330 cm² environ, dispositif utilisé simultanément pour l'étude de la répartition des précipitations sous couvert (BOYER, 1971). Un volume de 10 cm³ d'eau environ est prélevé dans chaque récipient collecteur à l'occasion de chaque relevé pluviométrique. Ces eaux sont rassemblées hebdomadairement pour les déterminations de N, P, K, Ca, Mg. Comme chaque prélèvement n'est pas proportionnel à la quantité d'eau collectée à l'occasion de chaque passage, un calcul de correction est effectué, qui tient compte des proportions réelles et théoriques représentées par chaque échantillonnage, par rapport à l'ensemble des précipitations enregistrées au cours de la semaine donnée et sur lesquelles sont effectuées ces analyses.

L'étude des litières est réalisée dans vingt aires grillagées de 1 m² chacune, pour chaque condition, dans lesquelles s'emboîte un cadre amovible garni de grillage fin (BOYER, 1972). La chute des feuilles et autres débris végétaux est déterminée par relevés hebdomadaires. Les échantillons sont triés et séchés à l'étuve pour en connaître le poids sec.

La décomposition des feuilles de cacaoyers est suivie parallèlement dans ces mêmes aires. Des feuilles fraîchement tombées sont récoltées pendant la période optimale de chute (décembre-janvier) et séchées à l'air. Puis on les place sous le cadre amovible, de façon à éviter les mélanges avec les chutes périodiques et la dispersion par le vent et les animaux. La quantité de feuilles placée par aire est d'environ 500 g de matière séchée à l'air. Ceci correspond à un poids légèrement supérieur à la moyenne des retombées annuelles, mais qui est destiné à compenser les enlèvements par prélèvements périodiques. Une fois par mois, les pertes de matière sont évaluées par pesées sur place. Cette opération rencontre les difficultés suivantes : les feuilles possèdent dans toute leur masse une humidité variable avec les conditions saisonnières. Elles sont en outre souillées par les chutes atmosphériques et surtout par le sol (action de la pluie et de la microfaune). Avant chaque pesée, les feuilles sont donc triées et les corps étrangers éliminés par brossage au pinceau plat et lavage rapide et léger à l'eau distillée. Après égouttement sur leur cadre grillagé, elles sont pesées humides. Dans chaque lot, un échantillon est prélevé pour déterminer le taux moyen d'humidité, de façon à pouvoir ramener les résultats au poids sec de matière. Puis il est utilisé pour l'analyse minérale des éléments majeurs (N, P, K, Ca et Mg). Si toute source d'erreur n'est pas éliminée en procédant ainsi, on obtient néanmoins des chiffres très comparables. La détermination des éléments stockés dans

le bois est également effectuée par analyses minérales. Mais les chiffres donnés n'ont été obtenus que sur un nombre restreint d'échantillons, prélevés sur des arbres abattus ou accidentés au cours des orages. Il est en effet impossible de sacrifier un nombre de sujets suffisamment élevé dans une plantation

privée. Les mêmes analyses minérales ont également été réalisées sur les constituants des fruits (fèves et coques). Dans ce cas, on peut effectuer un nombre suffisant de prélèvements et obtenir un échantillonnage représentatif, permettant d'établir un bilan des exportations.

RÉSULTATS

Le milieu naturel, source primaire d'éléments nutritifs

Par son caractère, le sol constitue le milieu essentiel qui détermine le développement d'un certain type de végétation. Ceci est particulièrement marqué en zones équatoriale et tropicale humide, comme l'ont déjà montré LEMÉE (1959) et d'autres auteurs. Le processus de la décomposition des roches mères constitue tout d'abord la source d'éléments indispensables pour les végétaux. Notre examen a porté essentiellement sur la fraction qui peut être mise immédiatement à la disposition des végétaux, à savoir les bases échangeables (Ca^{++} , K^+ et Mg^{++}) et le phosphore assimilable. L'azote total a également été déterminé. Le tableau I indique les résultats obtenus au cours de deux années consécutives d'observations.

TABLEAU I

Teneurs moyennes en éléments majeurs dans les divers horizons de la rhizosphère des cacaoyers (‰ par rapport au poids sec de terre)

Profondeur (cm)	N total	P assimil.	Bases échangeables		
			K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺
0-20	1,22	0,017	0,025	1,02	0,19
20-40	0,73	0,018	0,018	0,56	0,17
40-60	0,65	0,015	0,014	0,35	0,16
60-80	0,58	0,018	0,013	0,29	0,16
80-100	0,51	0,017	0,013	0,28	0,14

L'échantillonnage est obtenu par carottages à la tarière hélicoïdale, à raison d'une série de cinq prélèvements par mois, de 20 en 20 cm jusqu'à 1 m de profondeur, sur trois profils différents. Les analyses minérales sont effectuées chaque mois sur un échantillon moyen par niveau. Les résultats du tableau I représentent donc la moyenne de vingt-quatre données par niveau. On note les faibles teneurs en phosphore assimilable et potassium échangeable.

Les quantités totales d'éléments échangeables ou assimilables ont été calculées par ha de sol, sur 1 m de profondeur, c'est-à-dire dans le volume de sol où

se localise la plus grande partie des racines des cacaoyers. La détermination de la densité apparente pour chacun des horizons a donné les chiffres moyens suivants de 0 à 1 m de profondeur : 1,52, 1,47, 1,40, 1,38 et 1,34, qui permettent de calculer les poids de terre sèche/ha, comme le montre le tableau II.

TABLEAU II

Quantités totales (calculées) d'éléments à la disposition des cacaoyers dans une couche de sol de 1 m d'épaisseur (en chiffres arrondis)

Profondeur (cm)	Poids sec de sol (t/ha)	N total (kg/ha)	P assimil. (kg/ha)	Bases échangeables (kg/ha)		
				K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺
0-20	3.040	3.709	52	76	3.100	578
20-40	2.940	2.146	53	53	1.646	500
40-60	2.800	1.820	42	39	980	448
60-80	2.760	1.601	50	36	800	442
80-100	2.680	1.367	46	35	750	375

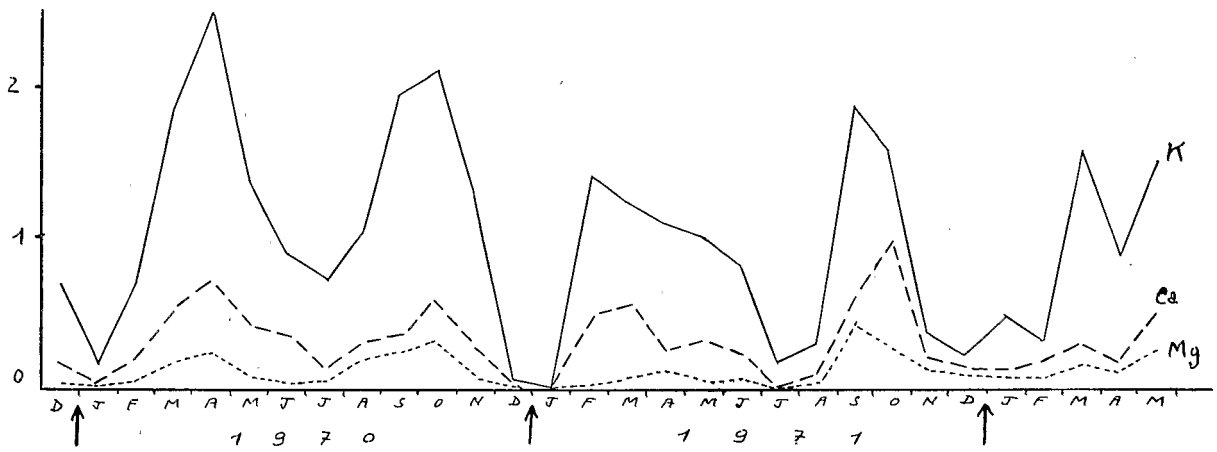
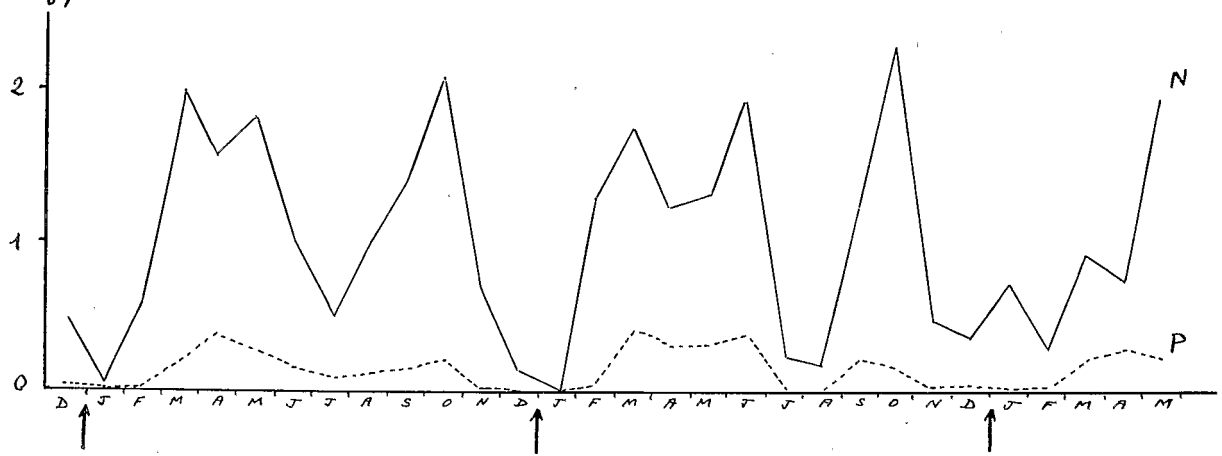
Sur 1 m d'épaisseur, le sol possède donc théoriquement environ par ha : 10,6 t d'azote total (mais dont une faible fraction sans doute est minéralisée), 240 kg de phosphore et de potassium, 7,3 t de calcium et 2,3 t de magnésium. Les grandes quantités d'azote total sont, comme l'a montré ELLENBERG (1971), en relation avec la biomasse de cette phytocénose particulière. En général, nos chiffres correspondent bien aux ordres de grandeur que l'on peut relever chez différents auteurs, en particulier TSUTSUMI (1971). La richesse particulière en calcium, qui s'oppose à la pauvreté relative en potassium assimilable, est peut-être due au fait que la cacaoyère se présente à la fois comme un écosystème forestier et cultural.

L'atmosphère est la seconde source d'éléments minéraux pour les plantes. Si les apports en bases et phosphore sont assez modestes, par contre l'approvisionnement en azote est plus important. L'analyse des eaux de pluie recueillies en situation découverte (*) montre en effet qu'ils ne sont pas

(*) Dix pluviomètres ont été installés à cet effet au sommet d'une tour dominant de 1 m les cimes d'un groupe de cacaoyers en tache de lumière.

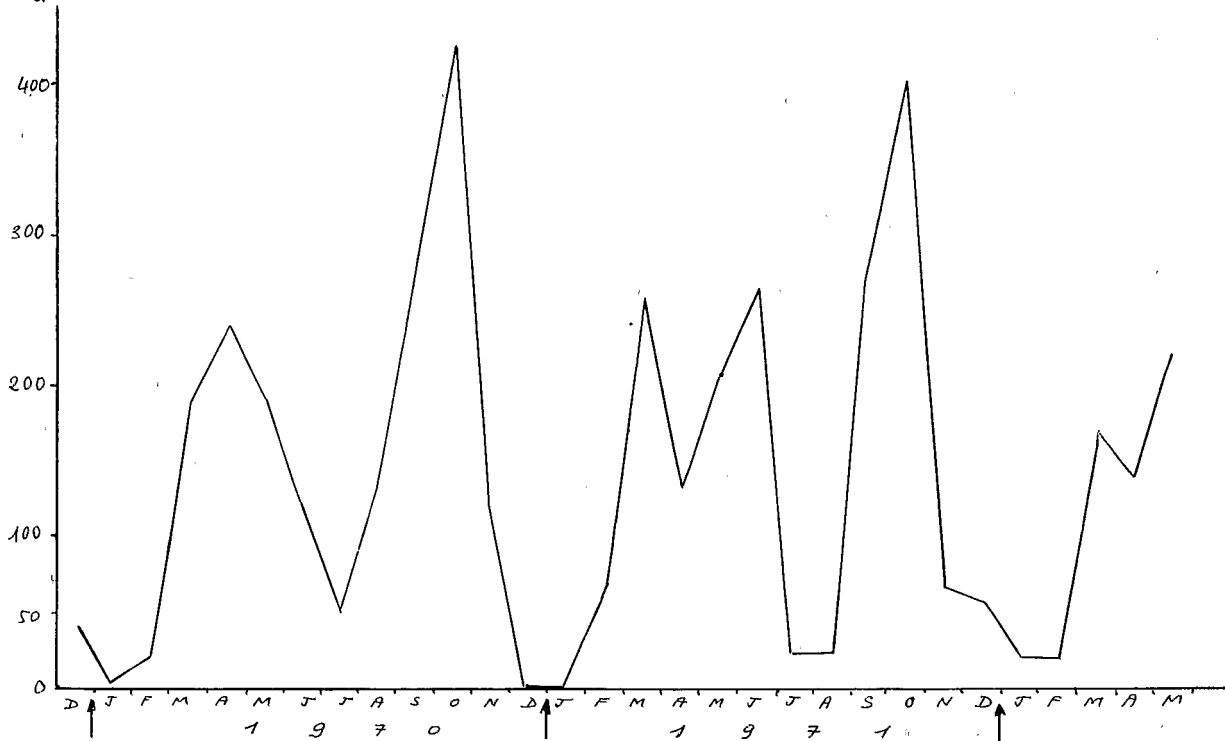
Kg/ha

Fig. 1. — Apports d'éléments minéraux par les eaux météoriques en station découverte



mm d'eau

Fig. 2. — Valeurs mensuelles des précipitations en station découverte



négligeables, si on les rapporte à une surface réceptrice d'un hectare, et si on tient compte du fait qu'ils se trouvent sous une forme presque totalement soluble (fig. 1). Dans tous les cas et comme on peut le penser, ces apports sont en relation étroite avec la pluviosité, comme le montrent les figures 1 et 2. L'examen des données recueillies montre également que pour une période de trente mois d'observations (décembre 1969 à mai 1972), les pluies ont apporté par ha/an : 12 kg d'azote et de potassium 1,7 kg de phosphore, 3,8 kg de calcium et 1,5 kg de magnésium. La teneur élevée en potassium suggère que le dispositif utilisé ne représente pas exactement une aire dégagée de toute influence végétale. Il est possible que les orages, fréquents sous ces latitudes, apportent dans les récipients collecteurs des eaux transportées par le vent et ayant déjà atteint les frondaisons des grands arbres de la forêt voisine. Mais ce fait n'enlève rien à l'intérêt de ces chiffres, puisque ces eaux constituent un apport précieux

pour les cacaoyers. Mis à part cette anomalie, ces chiffres s'accordent en général assez bien avec ceux recueillis par d'autres auteurs et dans des milieux très différents : DUVIGNEAUD et DENAEYER-DE SMET (1964-1966) pour les Ardennes belges, RAPP (1969) en zone méditerranéenne, à condition qu'ils se rapportent à des régions naturelles soustraites aux influences humaines (comme les activités industrielles, par exemple) qui peuvent être la source d'apports importants par les fumées. Par contre, l'apport en azote semble assez modeste. Pour les pays tropicaux, on pourrait s'attendre à des chiffres plus élevés.

Pluiolessivage du couvert végétal

Bien que les quantités d'éléments minéraux apportées par l'atmosphère ne soient pas négligeables, il se trouve néanmoins que certains d'entre eux

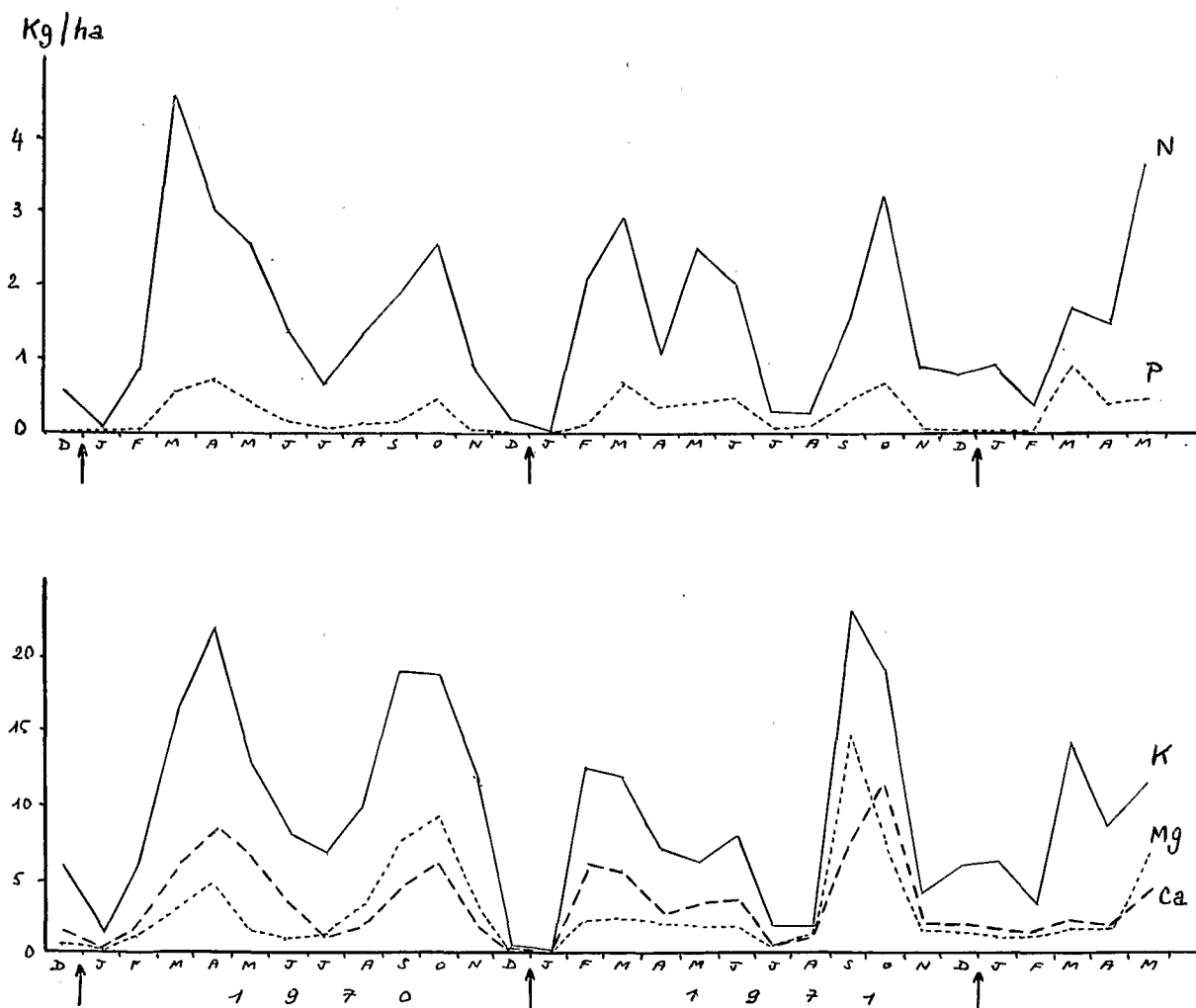


Fig. 3. — Quantités totales d'éléments lessivés sous cacaoyère non ombragée (apports atmosphériques et pluiolessivage)

(les bases en particulier) sont surtout apportés au sol par les eaux d'égouttement qui lessivent le couvert végétal. Comme le fait remarquer RAPP (1969), cette étude présente un intérêt double. Ce phénomène constitue une restitution importante non seulement d'éléments minéraux pour les écosystèmes, mais aussi de composés organiques, dont l'influence est grande sur les processus pédogénétiques et l'activité microbiologique des sols. Dans le cas d'une cacaoyère, ce cycle prend une valeur fondamentale par l'importance des quantités d'éléments qu'il met en jeu annuellement. Dans cette formation végétale particulière, ce lessivage se produit essentiellement au niveau du feuillage, dont la surface totale est souvent voisine de 50 m² par arbre (ALVIM, 1965 ; BOYER, 1970). En outre, la forme et la position inclinée des limbes favorisent l'écoulement des eaux météoriques et l'entraînement des dépôts. Par

contre, on ne peut observer aucun écoulement appréciable au niveau des grosses branches et des troncs, comme c'est le cas pour certaines futaies (DENAEYER-DE SMET, 1966 ; SCHNOCK et GALOUX, 1967). Les résultats obtenus au cours de trente mois consécutifs d'observations sont schématisés par les graphiques des figures 3 et 4 (p. 7 et 8). Ces données totalisent les quantités totales d'éléments apportées par l'atmosphère et lessivées au niveau des strates végétales traversées par la pluie. Les quantités moyennes totales par ha/an apportées au sol par les pluies sont les suivantes :

- en l'absence d'ombrage naturel : 18,3 kg d'azote, 3 kg de phosphore, 113 kg de potassium, 38,4 kg de calcium et 33,5 kg de magnésium ;
- sous ombrage modéré : 17 kg d'azote, 3,5 kg de phosphore, 86,5 kg de potassium, 41,9 kg de calcium et 33,9 kg de magnésium.

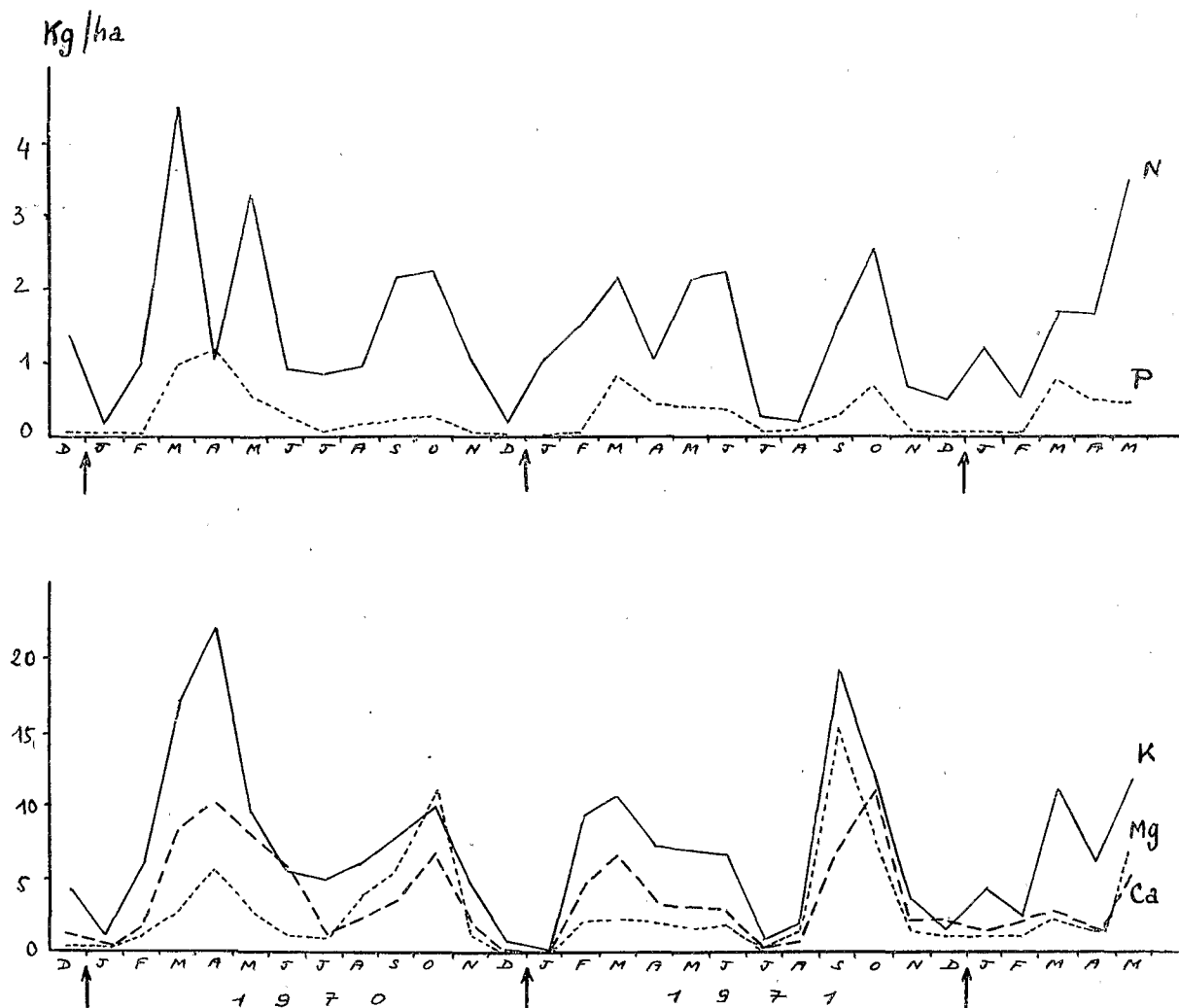
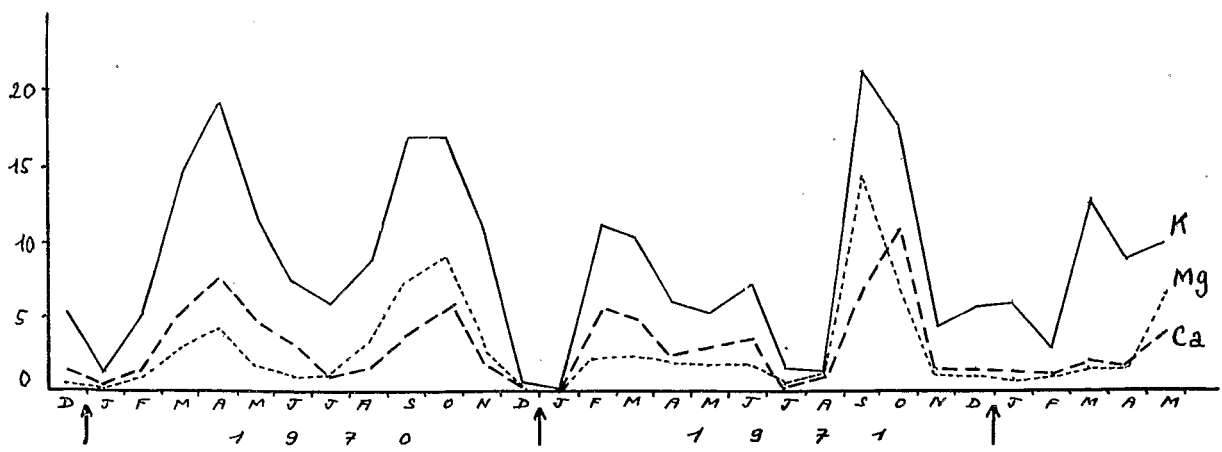
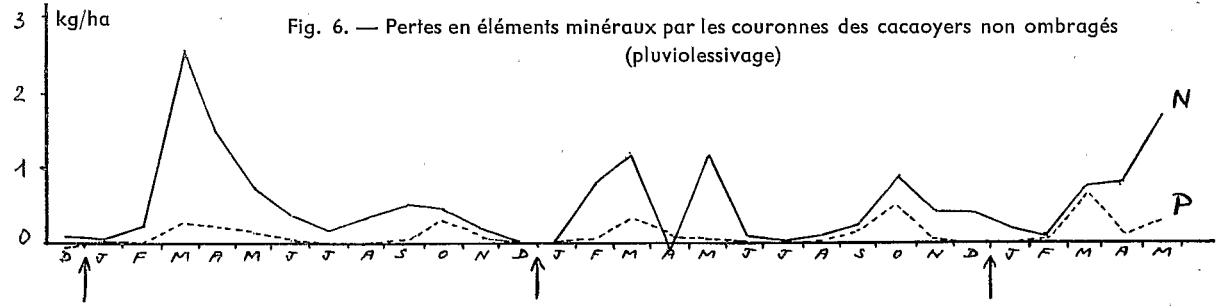
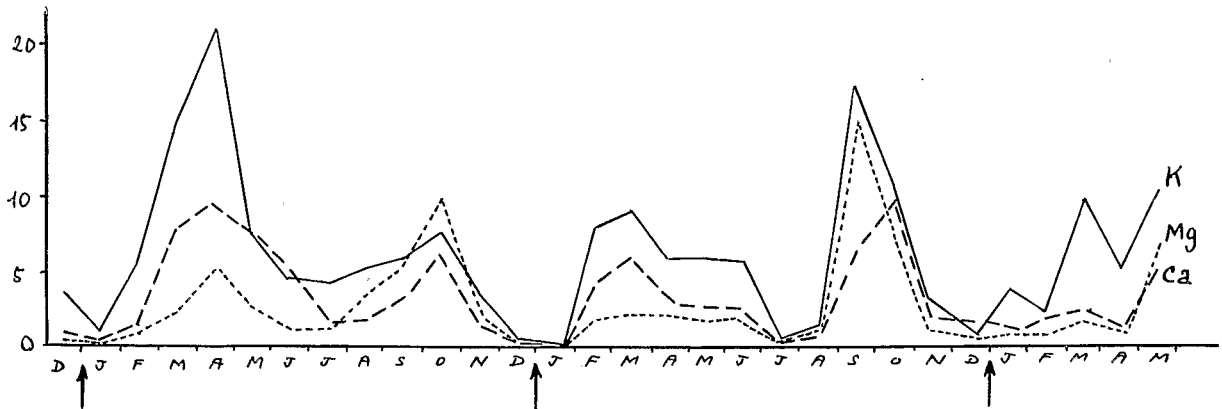
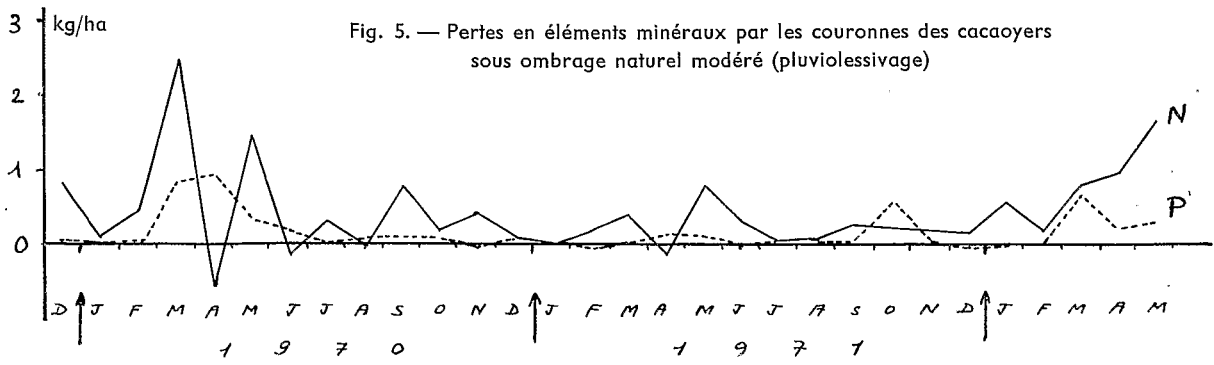


Fig. 4. — Quantités totales d'éléments lessivés sous cacaoyère subissant les effets d'un ombrage naturel modéré (apports atmosphériques et pluiolessivage)



Si l'on tient compte des quantités apportées initialement par l'atmosphère, avant que la pluie n'atteigne les couronnes des cacaoyers, on remarque que l'azote et le phosphore sont faiblement lessivés dans les feuilles (fig. 5 et 6, p. 9) où ils se trouvent sans doute à l'état de composés organiques très peu solubles. Par contre, le lessivage des bases, du potassium surtout, est très important comme l'a déjà observé RODRIGUEZ (1965) à Costa Rica. Tous les auteurs qui ont étudié ces problèmes accordent en général une mention particulière à cet élément. Ils ont constaté qu'il était le plus facilement entraîné par l'eau (MANN et WALLACE, 1925 ; STENLID, 1958 ; RAPP, 1967, etc...), ce qui peut causer des carences au cours de certains stades du développement des fruits (observations faites par MANN et WALLACE sur pommiers en 1924). Comme il se trouve en faibles quantités échangeables dans le sol, il est probable que les sommes totales recueillies annuellement dans les eaux de précipitation ne peuvent s'expliquer que par un cycle très rapide d'absorption et de restitution de cet élément. Sa très grande mobilité confirme donc qu'il se trouve dans la cellule végétale, sous forme de sels minéraux très solubles et peut-être même d'ions actifs, si on considère le rôle important qu'on lui attribue dans le transport des glucides. Etant donné les quantités mises en jeu dans ce cycle, les feuilles constituent également une source importante de calcium et de magnésium disponibles pour les plantes. Dans certains sols tropicaux où ces éléments sont actuellement défaut par carence ou immobilisation, la végétation en constitue le plus souvent la source essentielle. C'est ainsi qu'en Amazonie centrale, BRINKMANN (1972) souligne l'importance des quantités de calcium soluble trouvées dans certaines eaux naturelles, alors que les sols et les eaux météoriques en sont très pauvres, et qui proviennent essentiellement du pluviollessivage des couronnes et de la décomposition des litières. Cet exemple illustre bien l'importance de ces processus comme source d'éléments biogènes lorsque certains d'entre eux n'existent plus que dans un cycle fermé d'absorption, accumulation et restitution par lessivage et décomposition. Notons toutefois que le calcium et le magnésium ne se trouvent qu'en faible proportion sous forme hydrosoluble dans la cellule végétale, ce qui explique que les quantités lessivées de ces éléments sont beaucoup moins importantes que celles de potassium.

L'examen des chiffres recueillis montre également qu'ils sont en général nettement plus élevés que ceux donnés par les divers auteurs qui ont étudié ce problème en climats tempérés. Il est donc difficile d'établir des comparaisons par suite du manque d'étude en milieux équatorial et tropical humide. Certains auteurs, comme STENLID (1958), pensent toutefois que les sels des cellules végétales sont perdus plus rapidement si les températures

ambiantes sont élevées. Les feuilles s'humectent et se mouillent plus facilement et la dissolution des sels est donc plus rapide et plus complète. Cet effet thermique s'ajoute donc à celui de l'importance des chutes météoriques. Ceci semblerait être confirmé par le fait que les feuilles des cacaoyers les plus exposées aux effets calorifiques de l'insolation perdent des quantités annuelles de potassium nettement plus grandes que celles soumises à l'action d'un ombrage naturel. Enfin, il peut être également possible que cet effet calorifique se traduise par une « récréation » plus importante (sortie d'éléments minéraux) pour certaines espèces manifestant une sensibilité particulière à l'insolation.

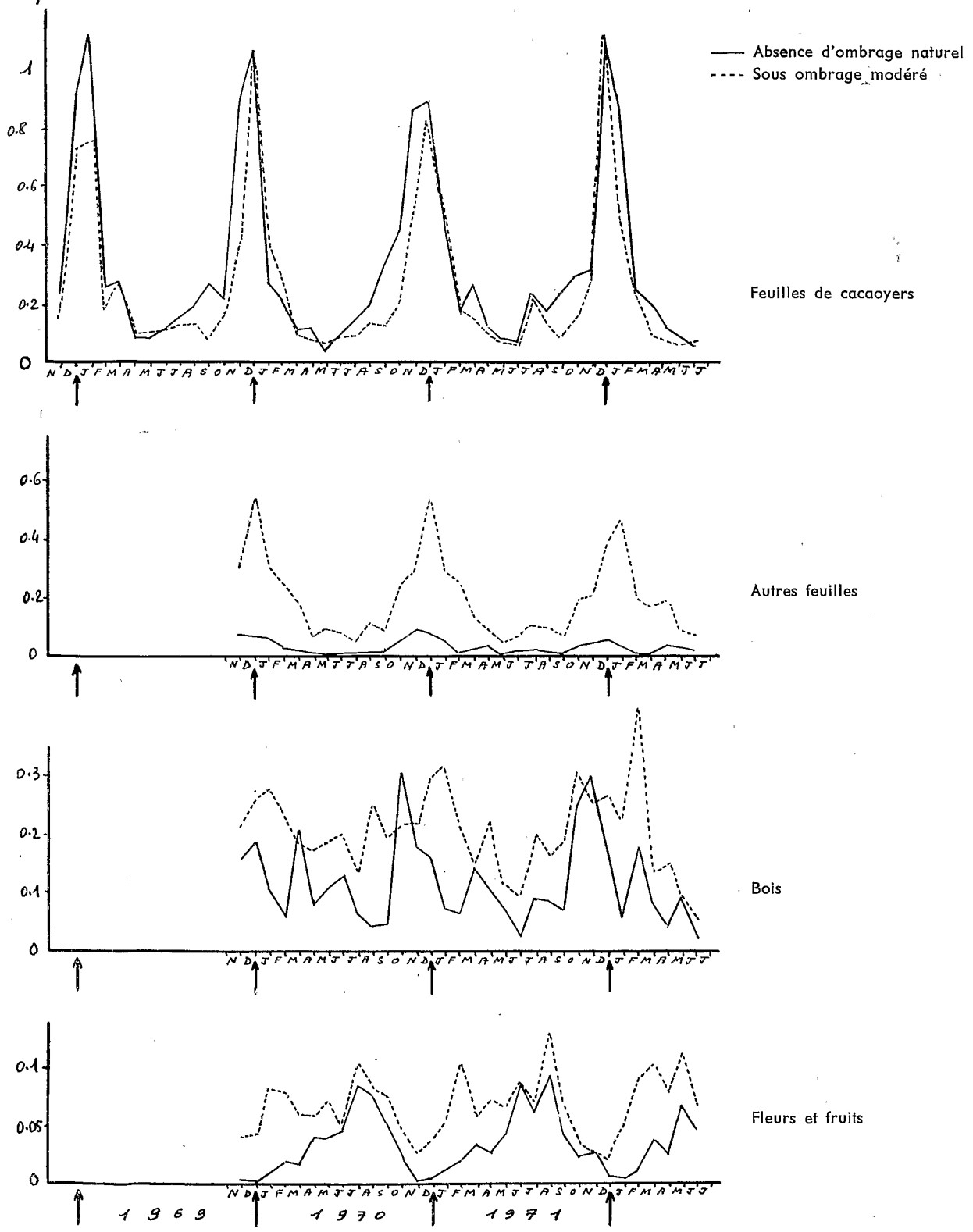
Litières

Comme le font observer LEMÉE et BICHAUT (1971), le retour périodique au sol de matière organique sous forme de chutes de feuilles, autres organes et débris végétaux est un des chaînons importants de leur renouvellement à l'intérieur des écosystèmes. C'est également une des étapes les plus caractéristiques et les plus apparentes de ce cycle organique et minéral que les auteurs désignent généralement sous le terme très général de « turn over ». Aussi a-t-elle été étudiée par de nombreux auteurs, parmi lesquels nous citerons JENNY, GESSEL et BINGHAM (1944) pour leurs investigations en milieux tempéré et tropical. Cependant, il n'existe jusqu'ici que très peu de travaux relatifs au cacaoyer ; MADGE (1965) au Nigéria a étudié le cycle saisonnier de six espèces forestières, dont le cacaoyer, et le rôle joué par la microfaune du sol.

Le bilan saisonnier des **retombées végétales** constitue le phénomène le plus spectaculaire de cette restitution de matière au sol. Les résultats que nous avons obtenus sont synthétisés par les graphiques de la figure 7 (p. 11). Leur examen montre que la chute des feuilles obéit à un cycle très net et très accentué, caractérisé par un maximum qui correspond à la saison sèche hivernale. Comme la durée de vie des feuilles est d'environ un an (BOYER, 1970), ce cycle se reproduit très régulièrement d'une année à l'autre. Par contre, la chute des autres organes est répartie plus irrégulièrement. Celle des rameaux et petites branches en particulier coïncide surtout avec les périodes orageuses où le vent est plus violent (début ou fin des saisons pluvieuses). Les chutes de fleurs et fruits (surtout constituées pondéralement par ces derniers) sont principalement estivales. On sait en effet qu'une grande proportion de chérelles tombent en cours de grossissement par jaunissement et flétrissement, ce phénomène étant surtout désigné dans la littérature sous le terme de « chérelle wilt ». Les chutes de fruits des espèces forestières naturelles subsistant comme ombrage présentent une

t/ha

Fig. 7. — Importance saisonnière des chutes de litière dans une cacaoyère camerounaise type



grande variabilité en fonction de la nature de ces espèces et de leur répartition spatiale. Dans le tableau III, les résultats obtenus sont des moyennes annuelles qui totalisent les récoltes allant de la deuxième quinzaine de novembre à la première quinzaine du même mois de l'année suivante. Ceci correspond en effet à un cycle saisonnier complet d'une année dans les deux conditions écologiques types retenues : absence d'ombrage (A. O.) et ombrage modéré (O. M.). Les résultats de deux années consécutives montrent que les feuilles constituent 60 à 70 % des quantités totales de litière produite, le bois 22 à 30 %. Pour les fleurs et fruits, les chiffres sont compris entre 7 et 10 %. Mais ces données sont certainement moins précises que celles concernant les feuilles et le bois, comme l'a montré BERNHARD (1970) dans une étude effectuée en Côte d'Ivoire sur des forêts subéquatoriales climaciques.

TABLEAU III

Production moyenne de litière sèche en kg/ha/an

	Poids de matière sèche		% par rapport au poids total	
	A. O.	O. M.	A. O.	O. M.
Feuilles de cacaoyers ...	3.840	2.965	63,8	35,1
Feuilles d'autres espèces	395	2.235	6,6	26,5
Bois	1.360	2.450	22,6	29,0
Fleurs et fruits	420	795	7,0	9,4
Total	6.015	8.445	100,0	100,0

Dans une plantation âgée de cacaoyers, où l'ombrage naturel est peu dense, et le plus souvent même en disparition, la quantité totale de litière produite en une année est comprise entre 6 et 8,5 t/ha/an. Ces valeurs sont nettement plus faibles que celles obtenues sous forêts ombrophiles des tropiques humides, où certains auteurs trouvent une production comprise entre 7 et 15 t/ha/an (LAUDELOUT et MEYER, 1954 ; NYE, 1961 ; HOPKINS, 1966 ; BERNHARD, 1970). Par contre, MADGE (1965) trouve, pour certaines espèces de la forêt d'Ibadan, et

notamment le cacaoyer, des valeurs plus proches des nôtres.

L'analyse minérale des éléments majeurs, effectuée sur feuilles fraîchement tombées, ainsi que sur les rameaux, branches et fruits, permet d'établir un bilan des restitutions au sol par la litière. Ces déterminations n'ont pu être faites que sur cacaoyers, étant donné la grande diversité des espèces subsistant comme ombrage naturel et l'irrégularité de leur distribution. En outre, leur importance est en général réduite dans ce type de plantations où elles tendent à disparaître. L'essentiel des apports de matière est donc constitué par les cacaoyers eux-mêmes.

Une étude préliminaire effectuée sur feuilles de cacaoyers fraîchement tombées à la même époque a montré que les résultats d'analyses variaient assez peu d'une station à l'autre (BOYER, 1972), si l'échantillonnage porte sur un nombre de feuilles suffisamment grand. Une cause d'hétérogénéité des résultats est sans doute la période de récolte de ces feuilles, puisqu'il existe également une variation saisonnière dans la composition minérale de leurs tissus. C'est pourquoi les prélèvements des échantillons ont été effectués au cours des périodes optimales de chutes de ces divers organes : mi-novembre à mi-février pour les feuilles et les rameaux (70 % environ des chutes annuelles), mi-juin à mi-août pour les fruits (70 à 80 % des chutes par flétrissement physiologique). Les résultats obtenus sont groupés dans le tableau IV. Ils n'ont qu'une valeur d'ordre de grandeur, étant donné les multiples causes de variations qui peuvent exister (saisonnières, stationnelles, nature génétique des cacaoyers dont les populations sont souvent très hétérogènes).

Ces chiffres montrent que, dans les conditions de nos observations, la litière peut apporter annuellement au sol et par hectare : 50 à 55 kg d'azote, 3,5 à 4 kg de phosphore, 35 à 40 kg de potassium et environ 90 kg de calcium et 25 kg de magnésium. Il est probable que les retombées dues aux essences qui subsistent comme ombrage naturel peuvent apporter en outre un complément d'éléments qui s'ajoute encore à ceux fournis par les seuls cacaoyers.

TABLEAU IV

Composition minérale moyenne (en % de matière sèche) et quantités totales d'éléments apportées au sol par les principaux constituants d'une litière dans une plantation de cacaoyers âgés d'une trentaine d'années

	N		P		K		Ca		Mg	
	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha
Feuilles ..	1,06	40,7	0,055	2,1	0,49	18,8	2,08	80,0	0,77	22,0
Branches ..	0,305	4,2	0,013	0,2	0,45	6,1	0,394	5,4	0,135	1,8
Fruits	1,82	7,6	0,361	1,5	3,08	13,0	0,89	3,7	0,58	2,4
Total		52,5		3,8		37,9		89,1		26,2

Il n'est d'ailleurs pas certain que cet apport soit nettement plus élevé, puisque la présence de ces espèces, dont certaines apportent surtout du bois, s'accompagne d'une diminution corrélative de la production en feuilles chez les cacaoyers.

Par conséquent, il est possible que ces chiffres ne diffèrent pas nettement d'un point à un autre d'une même plantation et même d'une zone culturale donnée, si le matériel végétal n'est pas trop hétérogène et en bon état végétatif et sanitaire.

Les feuilles des cacaoyers constituant pour le sol la source trophique la plus importante d'éléments essentiels, leur **vitesse de décomposition** a été étudiée par évaluations périodiques des pertes de matière sèche. Les résultats obtenus au cours de deux années consécutives sont schématisés par les graphiques de la figure 8. Ils montrent que ces

pertes sont d'abord assez lentes au cours des premiers mois qui suivent leur mise en place sur le sol. En fait, les pertes de poids ne sont nettes qu'à partir du moment où les pluies reprennent (mars) pour lessiver les feuilles et favoriser le développement et le travail des micro-organismes du sol. Cette étape aboutit à un début de fragmentation des limbes que l'on peut déceler quatre à cinq mois plus tard, suivant que les feuilles sont dans des plages soumises ou non aux effets d'un ombrage naturel, où l'humidité ambiante est un peu plus élevée. A ce stade, les pertes en matière sèche atteignent environ 30 % du poids initial. Puis la décomposition s'accélère jusqu'à disparition totale des limbes et des parties les moins ligneuses. Un an après leur mise en place, les feuilles ont perdu environ 75 % de leur poids sec initial. Sous ombrage naturel, la vitesse de cette

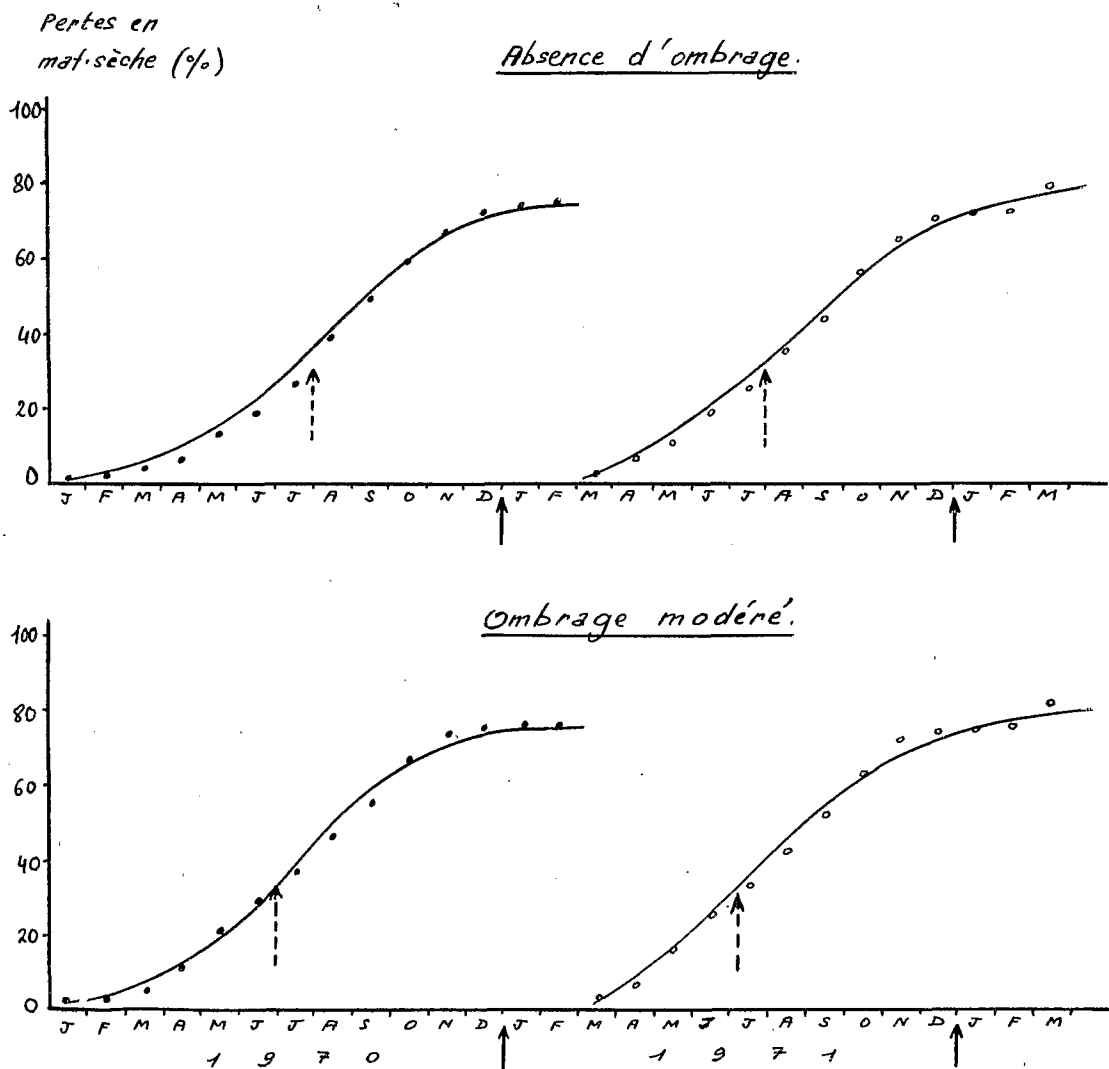


Fig. 8. — Vitesse de décomposition des feuilles de cacaoyer sur le sol dans deux conditions écologiques types (les flèches indiquent le moment à partir duquel elles se fragmentent et perdent leur structure)

décomposition semble un peu plus forte, tout au moins au cours des premiers stades. Mais les valeurs finales diffèrent très peu d'une condition stationnelle à une autre et d'une année à l'autre. Ce dernier fait est sans doute dû à l'action d'un climat dont les composants thermiques et pluviométriques varient globalement assez peu d'une année à l'autre. Dans d'autres types de climat à rythme saisonnier très tranché, les différences annuelles sont parfois très nettes. C'est ainsi que WITKAMP et VAN DER DRIFT (1961) observent aux Pays-Bas que les pertes totales en matière sèche d'une forêt caducifoliée peuvent varier plus que du simple au double au cours de plusieurs années consécutives, suivant le régime saisonnier des températures et des chutes de pluies.

La décomposition de la matière est donc favorisée par un climat de type équatorial ou tropical humide, qui est celui des zones de culture du cacaoyer.

Au cours des diverses étapes de la restitution de cette matière au sol, la **vitesse de libération des éléments minéraux majeurs** a été étudiée par analyses chimiques des litières de feuilles des cacaoyers. Les résultats obtenus sont reportés sur les graphiques de la figure 9.

Leur examen montre les faits suivants :

La vitesse de libération du potassium est la plus grande et la plus rapide. Ces résultats confirment donc les observations relatives au phénomène de pluviollessivage des feuilles. L'entraînement du potassium devient très rapide à partir du moment où les pluies reprennent : il atteint 75 % des teneurs initiales des feuilles fraîchement tombées, dès la fin du troisième mois de saison pluvieuse. Au bout de six mois, ces valeurs montent à 90 %, alors que les feuilles sont encore entières sur le sol. Par conséquent, le potassium peut être presque totalement

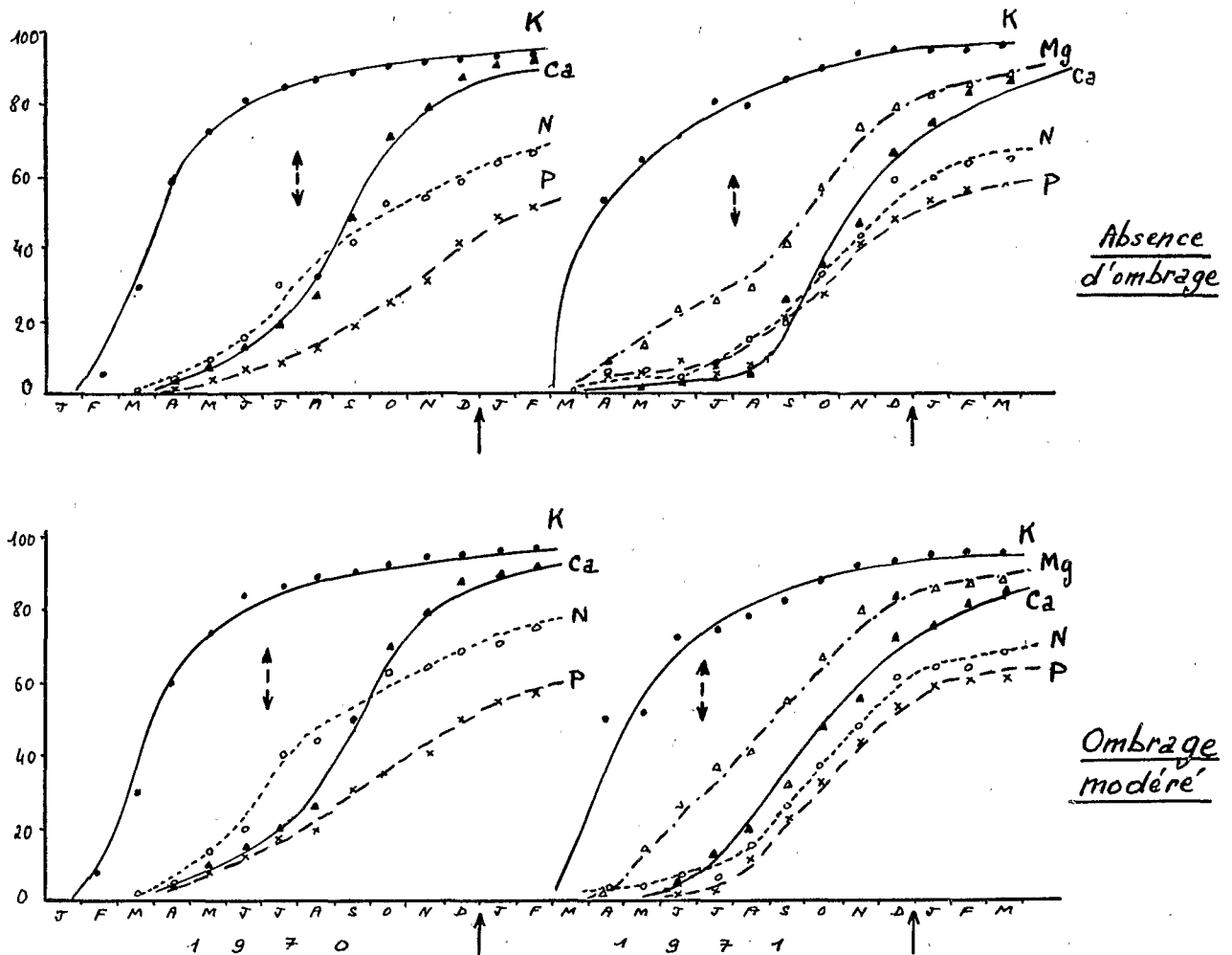


Fig. 9. — Etude de la libération des éléments majeurs dans la litière de feuilles de cacaoyers subissant ou non l'influence de l'ombrage naturel

↓ Moment à partir duquel les feuilles se fragmentent et perdent leur structure

entraîné avant que n'interviennent les processus de destruction de la structure initiale de la feuille. Ceci confirme bien que cet élément se trouve dans la cellule végétale sous une forme minérale très soluble, comme le laissent déjà supposer les résultats relatifs au pluviollessivage du couvert. Etant donné son extrême mobilité et le rôle qu'il peut jouer dans le transport des glucides, il n'est pas interdit de penser qu'il peut même se trouver, en partie tout au moins, sous forme d'ions libres. Cette extrême solubilité du potassium, constatée par tous les auteurs, a été également mise en évidence par RODRIGUEZ à Costa Rica (1965), qui a étudié expérimentalement le lessivage des feuilles des cacaoyers. Ce phénomène revêt une importance particulière dans une zone culturale où le sol est généralement assez pauvre en potassium échangeable.

On peut observer en outre, par suite de la rapidité de cet entraînement, qu'il n'est pas possible de mettre en évidence la moindre différence stationnelle, puisqu'il est étroitement lié à la pluviosité.

Les autres bases se libèrent plus progressivement et au fur et à mesure de la décomposition des feuilles. Le magnésium et le calcium ont une vitesse de libération très parallèle, bien que le taux reste toujours plus élevé chez le premier. On peut admettre en effet que cet élément provient surtout de la chlorophylle qui se décompose lors du brunissement des limbes. RAPP (1967) pense également qu'il peut en exister une importante fraction sous forme hydrosoluble. Le calcium par contre se trouve en général sous forme très peu soluble dans les tissus végétaux intacts. Cette liaison à leur structure est démontrée par le fait que la libération de cet élément s'accélère beaucoup à partir du moment où la décomposition des limbes entre dans une phase active. RAPP (1967) pense qu'il ne se trouve dans la feuille qu'en faible proportion sous forme hydrosoluble et que les oxalates, les carbonates et les pectates ne peuvent être entraînés qu'à la faveur des réactions acides qui naissent au cours des processus de décomposition et de dégradation des composés organiques.

De même, l'azote et le phosphore se libèrent lentement et progressivement. Au bout d'un an en effet les pertes en ces deux éléments atteignent respectivement 60 à 70 % et 50 à 60 %. On sait qu'ils ont une origine essentiellement organique. Ils se trouvent donc, en majeure partie, liés à des complexes dont la dégradation n'intervient qu'au cours des phénomènes de décomposition des tissus. Toutefois, le taux sensiblement supérieur de libération de l'azote semble indiquer qu'une partie de cet élément se trouve sous forme minérale ou est minéralisée dans une proportion plus élevée que le phosphore.

En général, l'action de l'ombrage naturel se manifeste par une humidité ambiante un peu plus élevée qui favorise l'activité des micro-organismes du sol, en particulier de la microfaune, comme l'établit MADGE (1965). Mais les différences stationnelles restent très faibles, dans les conditions de nos observations. De même, ces phénomènes de décomposition de la matière et de restitution au sol des éléments minéraux se reproduisent avec une ampleur sensiblement identique d'une année à l'autre, comme le montrent les graphiques des figures 8 et 9 (p. 13 et 14).

Bien qu'il soit difficile d'établir des comparaisons en l'absence d'autres études analogues sur cacaoyers, ces résultats confirment les observations de RODRIGUEZ (1965), qui a montré expérimentalement la grande sensibilité des feuilles de cacaoyer au lessivage des bases. Ce processus prend donc une importance particulière chez cette plante, même avant que n'interviennent les mécanismes plus complexes et plus lents de libération par décomposition des tissus.

C'est pourquoi nous l'avons examiné expérimentalement selon un dispositif qui s'inspire de celui utilisé par RAPP (1967) pour certaines essences méditerranéennes.

L'étude expérimentale de la libération des éléments minéraux par les feuilles de cacaoyers a été effectuée sur un lot récolté peu après la chute. Leur teneur initiale en N, P, K, Ca et Mg a été déterminée, sur un échantillonnage, par analyses chimiques. Puis ces feuilles, entières ou coupées en deux, ont été placées dans des seaux en matière plastique dont le fond avait été remplacé par une toile de nylon laissant passer les liquides, mais à mailles suffisamment fines pour arrêter les particules solides. Ce seau s'emboîtait sur un autre servant de récipient

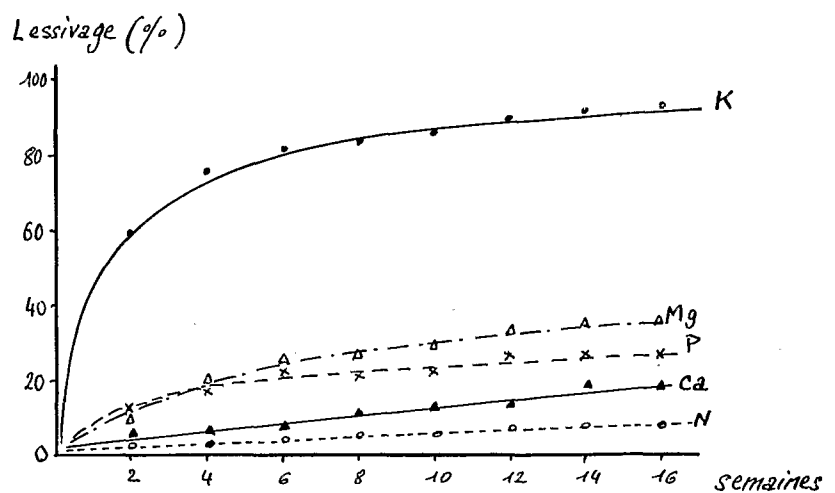


Fig. 10. — Vitesse de libération des éléments majeurs par lessivage expérimental de litières de feuilles de cacaoyers

collecteur: Tous les quinze jours, un litre d'eau bidistillée était utilisé pour chaque récipient. Cette quantité globale était divisée en quatre fractions de 250 cm³ de façon à pouvoir lessiver ces feuilles deux fois par semaine. Au cours de chaque séance de lessivage, le manipulateur faisait passer cette eau sur les feuilles autant de fois qu'il le fallait pour que le contact s'établisse pendant deux heures consécutives environ. Ces quatre fractions étaient rassemblées en un seul échantillon par quinzaine qui était ajusté à un litre puis envoyé à l'analyse chimique. L'expérimentation comportant vingt récipients, les déterminations chimiques bi-mensuelles ont donc été effectuées chaque fois sur un nombre correspondant d'échantillons. Les résultats sont les moyennes de vingt déterminations par quinzaine. L'expérience a duré seize semaines, soit huit quinzaines consécutives. Les graphiques de la figure 10 (p. 15) synthétisent les résultats obtenus. Ils confirment bien ceux obtenus « in situ ». La presque totalité du potassium contenu dans les feuilles, soit environ 80 %, a été lessivée au bout de six semaines. Par contre, l'enlèvement par l'eau des autres éléments a été faible, sauf pour le magnésium où il atteint près de 40 % au bout de seize semaines, ce qui indique bien que leur fraction hydrosoluble n'est pas négligeable. A la fin de cette expérience, la lixiviation atteint 25 à 30 % pour le phosphore, 20 % environ pour le calcium et moins de 10 % pour l'azote. Cette expérimentation met en évidence l'importance de l'action des micro-organismes du sol dans les processus de décomposition des litières, qui aboutissent à la libération des éléments minéraux.

Dans les conditions naturelles, c'est-à-dire lorsque leur action entre en jeu, les pertes en poids des éléments minéraux sont le plus souvent directement proportionnelles à celles des litières au cours des processus de décomposition (WITKAMP, 1971).

Eléments minéraux immobilisés dans le bois

Bien qu'une partie des éléments minéraux de la charpente soit restituée au sol par les chutes de rameaux et branches secondaires, une fraction importante s'accumule néanmoins dans les troncs et grosses branches dont la croissance en épaisseur est continue, même chez des arbres âgés.

L'évaluation de la croissance volumique du bois est difficile chez les cacaoyers, puisque la charpente principale qui stocke les éléments minéraux, sans retour à l'écosystème, ne se limite pas au seul tronc. Les branches principales dont le nombre et l'architecture sont très irréguliers représentent souvent une partie importante du cubage de bois. Celui-ci doit être effectué sans échantillonnage destructif.

En sylviculture, ces estimations, qui se limitent le plus souvent au tronc, font appel à des relations ou rapports de régression existant entre le diamètre, la hauteur et le volume du bois (KIRA et OGAWA, 1971). Nous avons donc utilisé les mesures diamétrales de croissance en épaisseur, effectuées à quatre niveaux différents sur vingt arbres en observation par condition stationnelle étudiée (BOYER, 1970), de façon à pouvoir calculer la section moyenne S de la charpente. Rappelons que ces quatre niveaux sont les suivants :

- sur le tronc à 50 cm du sol et 20 cm de l'insertion des premières branches,
- sur les branches principales à 10 et 50 cm de leur niveau d'insertion sur le tronc.

La mensuration de la hauteur L du tronc est très simple à réaliser chez le cacaoyer. Le problème était donc de déterminer la longueur des branches principales à prendre pour effectuer le calcul des volumes par la relation suivante :

$$V = S (L + k.n)$$

où k est la longueur à prendre sur la branche repérée et n le nombre de branches principales. A cette fin, des déterminations ont été effectuées sur dix-huit sujets accidentés au cours d'orages, dont on pouvait donc évaluer les volumes de charpente. Les résultats trouvés ont montré que la valeur moyenne de k était de 2,32, avec toutefois une assez forte erreur standard ($\pm 0,48$) correspondant à un intervalle de sécurité de 95 %. La formule devient donc :

$$V = S (L + 2,32 n)$$

Cette relation permet donc de calculer les volumes de charpente en partant du diamètre moyen déterminé par mensurations, de la hauteur du tronc (du sol aux premières ramifications principales) et du nombre de branches principales. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau V.

Le poids de matière sèche est calculé à partir de la valeur moyenne de la densité apparente du bois. Ces mesures, effectuées sur les dix-huit arbres accidentés, ont donné pour résultat la valeur 0,34. Les valeurs portées dans le tableau V montrent que l'accroissement annuel en matière sèche des charpentes principales est de 1 à 1,5 t/ha, pour un poids total de 10 à 15 t/ha chez des cacaoyers âgés d'une trentaine d'années. A ce stade, leur taux d'accroissement annuel en matière sèche est donc de 10 % environ, chiffre nettement plus élevé que ceux trouvés habituellement pour les forêts équatoriales et tropicales humides. En Indonésie, DILMY (1971) trouve pour certaines forêts de Bornéo un accroissement annuel des troncs de 5,8 à 12 t/ha pour une biomasse de 170 à 290 t/ha. L'augmentation annuelle n'est donc que de 3 à 4 %. D'après KIRA et OGAWA (1971), ce chiffre est plus bas encore pour certaines

TABLEAU V

Valeurs calculées du volume moyen des charpentes et quantités de matière sèche immobilisées chaque année chez des cacaoyers cultivés dans deux conditions, stationnelles différentes (par ha)

Epoque	Absence d'ombrage			Ombrage modéré		
	Volume (m ³)	Accroissement annuel		Volume (m ³)	Accroissement annuel	
		en vol. (m ³)	en p. sec (t)		en vol. (m ³)	en p. sec (t)
Fin 1967	28,980			28,015		
— 1968	32,165	3,185	1,085	30,630	2,615	0,890
— 1969	36,500	4,335	1,475	33,465	2,835	0,965
— 1970	40,370	3,870	1,315	36,405	2,940	1,000
— 1971	44,570	4,200	1,430	39,685	3,280	1,115

forêts climaciques subéquatoriales : 2 % pour le sud de la Thaïlande et 3 % en Côte d'Ivoire.

Ce taux élevé d'accroissement annuel suggère que le stockage de certains éléments minéraux doit être relativement important dans une cacaoyère. Dans ce but, des analyses minérales de N, P, K, Ca, Mg ont été effectuées. Mais comme nous ne disposons que d'un échantillonnage restreint (dix-huit arbres accidentés à l'occasion d'orages), celui-ci a été constitué de la façon suivante : chaque arbre a été scié à chacun des quatre niveaux de mesure des diamètres des troncs et branches. Toute la sciure collectée est réunie en un seul échantillon par arbre, soit en tout dix-huit.

L'échantillonnage de matière soumise à l'analyse contient donc en proportion convenable des fragments d'écorce, d'aubier et de bois des troncs et branches constituant la charpente principale. On sait en effet que les teneurs en éléments minéraux de ces divers constituants peuvent beaucoup varier (DENAËYER-DE SMET, 1971).

Les teneurs moyennes en éléments sont les suivantes :

N = 0,288, P = 0,009, K = 0,38, Ca = 0,432, Mg = 0,123 (exprimées en % par rapport au poids de matière sèche).

Si on admet que la densité moyenne des plantations est, dans la région de Yaoundé, de

1.000 arbres/ha, les quantités stockées seraient donc celles données dans le tableau VI, si on les rapporte à cette unité de surface plantée.

Ces résultats permettent de calculer les quantités d'éléments minéraux qui peuvent être annuellement immobilisées dans la charpente des cacaoyers, et en général toutes les parties qui ne sont pas restituées au sol sous forme de litière (tableau VII, p. 18).

Ces résultats montrent que l'immobilisation des éléments est loin d'être négligeable, mis à part le phosphore qui se trouve en très faibles quantités dans les charpentes des cacaoyers. On sait en effet que les écosystèmes forestiers sont de très faibles consommateurs de phosphore, mais de très importants consommateurs de calcium. Toutefois, l'importance presque aussi grande du stock de potassium indique que la cacaoyère en est une consommatrice plus forte que les autres espèces forestières.

On peut donc admettre que dans une plantation de cacaoyers âgés d'une trentaine d'années, les charpentes aériennes constituées par le tronc et les grosses branches stockent environ à l'ha : 30 à 35 kg d'azote, 1 kg de phosphore, 45 à 50 kg de potassium, 50 à 55 kg de calcium et 12 à 15 kg de magnésium. Le phénomène de croissance en épaisseur qui est continu, même à un taux très faible, augmente néanmoins ce stock de 3 à 4 kg d'azote, 100 g de phosphore, 4 à 5 kg de potassium, 4,5 à 6 kg de calcium et 1 à 1,5 kg de magnésium. Cette

TABLEAU VI

Quantités totales d'éléments minéraux stockées dans les charpentes de cacaoyers âgés d'une trentaine d'années (kg/ha)

Epoques	N		P		K		Ca		Mg	
	A. O.	O. M.	A. O.	O. M.	A. O.	O. M.	A. O.	O. M.	A. O.	O. M.
Fin 1967	28,370	27,430	0,885	0,885	37,430	36,195	42,550	41,150	12,115	11,715
— 1968	31,495	29,995	0,985	0,935	41,555	39,575	47,240	44,995	13,450	12,810
— 1969	35,740	32,775	1,115	1,025	47,160	43,245	53,610	49,160	15,265	13,995
— 1970	39,530	35,655	1,235	1,115	52,155	47,045	59,290	53,480	16,880	15,225
— 1971	43,645	38,865	1,365	1,215	57,590	51,280	65,470	58,300	18,640	16,600

A. O. = cacaoyers non ombragés

O. M. = cacaoyers subissant les effets d'un ombrage modéré

TABLEAU VII

Quantités d'éléments minéraux immobilisées annuellement dans les charpentes des cacaoyers (kg/ha)

Epoques	N		P		K		Ca		Mg	
	A. O.	O. M.	A. O.	O. M.	A. O.	O. M.	A. O.	O. M.	A. O.	O. M.
1967-68	3,125	2,565	0,100	0,080	4,125	3,380	4,690	3,845	1,335	1,095
1968-69	4,245	2,780	0,130	0,090	5,605	3,670	6,370	4,165	1,815	1,185
1969-70	3,790	2,880	0,120	0,090	4,995	4,200	5,680	4,320	1,615	1,230
1970-71	4,115	3,210	0,130	0,100	5,435	4,135	6,180	4,820	1,760	1,375
\bar{x} annuelle	3,820	2,860	0,120	0,090	5,040	3,845	5,730	4,290	1,630	1,220

augmentation annuelle est donc de 10 % environ, tout au moins à ce stade de la vie des cacaoyers. Il est possible que cette valeur se modifie de façon sensible, notamment lorsque les cacaoyers sont très jeunes et en début de production ou lorsqu'ils atteignent une phase de déclin physiologique avec chute de leur productivité.

Exportations

Dans tout écosystème, il existe des pertes de matière et d'éléments minéraux qui peuvent être dues aux causes suivantes :

- récoltes des branches et troncs dans les exploitations forestières,
- récoltes totales ou partielles de divers constituants des plantes de grande culture dans les exploitations agricoles,
- ruissellement, érosion et lessivage du sol.

Dans une cacaoyère, la principale source d'exportation est constituée par **les récoltes en fruits**. Sous cet angle, elle apparaît rattachée à un type d'exploitation purement agricole. Certains auteurs, comme RENNIE (1957) et OVINGTON (1962) ont étudié comparativement les deux types très différents de récoltes agricoles et forestières et constaté les différences très marquées qui les séparent, si on considère leurs prélèvements en éléments minéraux. Comparées à certaines cultures annuelles à grands rendements, où pratiquement rien n'est restitué au

sol, les exportations d'une forêt apparaissent souvent insignifiantes, étant donné les faibles teneurs des bois et les quantités d'éléments restituées par les litières. L'exploitation cacaoyère se situe dans une position intermédiaire entre ces deux types extrêmes. Seule la totalité des fruits à maturité est exportée. Un grand nombre est en effet restitué par chutes au cours de leur grossissement et les coques de fruits récoltés pourraient théoriquement s'adjoindre à la matière qui retourne au sol.

L'analyse chimique des deux constituants essentiels de ces fruits a été réalisée ; les résultats moyens de celle-ci figurent dans le tableau VIII et montrent que ces fruits exportent d'importantes quantités de phosphore et d'azote par les fèves, et de potassium par l'intermédiaire des coques. D'après les chiffres admis au Cameroun (*), une cabosse mûre exporte 80 à 100 g de matière sèche. Si on prend le chiffre moyen de 90 g, le poids de chacun de ses constituants est d'environ 35 g pour les fèves et 65 g pour la coque. Ceci permet de calculer l'exportation en éléments minéraux d'une cabosse (tableau VIII).

En chiffres arrondis, une cabosse exporte en moyenne : 1,2 g d'azote, 0,22 g de phosphore, 2,55 g de potassium, 0,29 g de calcium et 0,24 g de magnésium.

(*) Service de technologie des produits du Centre de recherches de l'IFCC.

TABLEAU VIII

Teneur en éléments minéraux (% par rapport au poids sec de matière) et quantités moyennes exportées par une cabosse

	N		P		K		Ca		Mg	
	%	Poids (g)	%	Poids (g)	%	Poids (g)	%	Poids (g)	%	Poids (g)
Coques.....	0,81	0,526	0,098	0,064	3,35	2,177	0,395	0,257	0,195	0,127
Fèves.....	1,92	0,672	0,438	0,153	1,05	0,368	0,085	0,030	0,315	0,110
Total.....		1,198		0,217		0,545		0,287		0,237

Partant de ces chiffres, on peut dresser un bilan des exportations en éléments majeurs (tableau IX). Dans les exploitations de la zone cacaoyère camerounaise, il s'échelonne, d'après les auteurs qui ont étudié ce problème, et notamment BÉNAC et DEJARDIN (1970), entre 10 et 30 cabosses par arbre/an. Au-dessous, la rentabilité est nulle, au-dessus elle est exceptionnelle.

TABLEAU IX

Calcul des exportations en éléments minéraux majeurs (kg/ha/an) des cacaoyères camerounaises suivant leur niveau de productivité

Niveau productif de 1 ha de cacaoyers (1.000 arbres)		Eléments minéraux (kg/ha/an)				
Nombre de cabosses/an	Poids sec de cacao (kg)	N	P	K	Ca	Mg
10.000	350	12,0	2,2	25,5	2,9	2,4
15.000	525	18,0	3,4	38,2	4,3	3,6
20.000	700	24,0	4,4	51,0	5,8	4,8
25.000	875	30,0	5,5	63,7	7,2	6,0
30.000	1.050	36,0	6,6	76,4	8,6	7,2

Bilan annuel des éléments minéraux majeurs

Les divers éléments de cette étude nous conduisent à établir un tableau récapitulatif du bilan annuel des éléments minéraux majeurs, N, P, K, Ca, Mg, dans le cas où la plantation de cacaoyers ne subit pas les effets d'un ombrage naturel (tableau X). La présence d'essences forestières diverses rendrait ce bilan beaucoup plus complexe.

TABLEAU X

Bilan annuel des éléments minéraux dans une plantation de cacaoyers non ombragés, d'une trentaine d'années (kg/ha)

	N	P	K	Ca	Mg
Apports par les pluies	12,0	1,7	12,0	3,8	1,5
Pluiolessivage	6,3	1,3	101,0	34,6	32,0
Retour au sol par litières	52,5	3,8	38,0	89,0	26,2
Réserves du sol (1) . .	10.640	245	240	7.280	2.340
Immobilisation bois (parties aériennes).	3,5	0,1	5,0	5,5	1,5
Exportations (fruits)	24,0	4,4	51,0	5,8	4,8

(1) N total, P assimilable et bases échangeables

Le chiffre des exportations par les récoltes en fruits correspond à une plantation ayant un niveau moyen de productivité (20 cabosses/arbre/an).

Théoriquement, les réserves du sol sont suffisamment grandes pour subvenir aux besoins d'une telle plantation, à condition qu'elles soient disponibles et utilisables par la plante en temps voulu.

Aussi, les études de bilan font-elles souvent appel à des comparaisons entre ses composantes essentielles :

- quantités d'éléments restituées au sol R (litières et pluiolessivage),
- quantités non restituées E (exportations par les récoltes et stocks dans les bois),
- quantités totales absorbées par la végétation (E + R),
- réserves totales du profil cultural S, dosées sous une forme conventionnelle, admise (N total, P assimilable et bases échangeables).

Le tableau XI résume l'ensemble de ces données et les rapports qui peuvent les lier.

TABLEAU XI

Rapport existant entre les diverses composantes du bilan minéral dans la même plantation (éléments exprimés en kg/ha/an)

Eléments du bilan	N	P	K	Ca	Mg
E (retenus)	27,5	4,5	56,0	11,3	6,3
R (restitués)	58,8	5,1	139,0	123,6	58,2
E + R (besoins)	86,3	9,6	195,0	134,9	64,5
S (réserves)	10.640	245	240	7.280	2.340
Rapports					
E/S	0,003	0,018	0,233	0,002	0,003
R/S	0,006	0,021	0,579	0,017	0,025
E/R (chiffres arrondis)	0,5	0,9	0,4	0,1	0,1

Les divers éléments de ce bilan semblent indiquer que la cacaoyère observée ne risque pas de manquer de calcium, ni de magnésium. Outre les quantités importantes stockées dans le sol, les restitutions en ces deux éléments sont toujours beaucoup plus importantes que les exportations par les récoltes et les stocks dans les charpentes ligneuses. Le potassium, par contre, qui se trouve dans le sol en faibles quantités sous forme échangeable est impliqué dans un cycle rapide d'absorption et de restitution. Le rapport des quantités annuelles absorbées et des réserves totales du profil est en effet supérieur à 0,8, ce qui indique que la presque totalité des réserves peut être mobilisée dans ce cycle. Comme les exportations sont importantes, il est donc possible que cet élément puisse manquer aux cacaoyers au cours de périodes courtes mais essentielles de leur cycle de développement. Certains auteurs comme ALVIM (1965) ont en effet pensé qu'une carence en potassium, même si elle est passagère, pourrait être une des causes des chutes par jaunissement et flétrissement physiologique des jeunes fruits au cours de leur grossissement (« chérelle wilt »). On sait en effet qu'au cours de ce cycle, il existe une période de forte consommation en substances hydrocarbonées, qui se situerait en moyenne entre les dixième et vingtième semaines qui suivent la nouaison. Au Cameroun, cette période serait donc comprise en moyenne entre les mois de juillet et septembre, tout au moins dans la majeure partie de la zone de culture du cacaoyer. Il est probable que la restitution au sol des coques de cabosses récoltées pourrait constituer une source non négligeable en potassium, étant donné leur richesse en cet élément. Mais cette pratique ne serait certainement pas rentable, le coût risquant d'en être élevé lorsque les fruits sont traités en dehors de la plantation. Ces coques risqueraient d'autre part de devenir une source importante de développement de la pourriture brune, si elles

sont simplement épandues sur le sol sans enfouissement. De plus, les époques de cette restitution, si elle devenait matériellement possible, risquent de ne pas correspondre avec celle des besoins optima des cacaoyers, étant donné la vitesse de libération de cet élément sous l'effet des pluies.

Les réserves importantes en azote total du sol sont liées à la biomasse des phytocénoses. Les quantités absorbées annuellement par la cacaoyère sont très faibles si on les rapporte aux réserves du profil ($E + R/S$ est inférieur à 0,01). Ceci peut être dû à une trop faible minéralisation nette (ou fraction utilisable par les plantes). Dans ce cas, cet élément peut faire momentanément défaut, par exemple au cours des périodes de fortes poussées foliaires.

La valeur du rapport E/R entre les quantités enlevées et restituées, qui est voisine de 0,5, est suffisamment élevée pour que cet élément puisse effectivement manquer temporairement, mais à des époques fondamentales pour la productivité de cet arbre. Une étude de la minéralisation de cet azote est nécessaire pour compléter nos informations à ce sujet.

Le phosphore semble être, de tous les éléments étudiés, celui qui risque de manquer le plus à la cacaoyère. Les réserves du sol en phosphore assimilable sont peu élevées mais non négligeables. Cependant, les quantités totales absorbées par la végétation sont faibles, si on les rapporte à ces réserves ($E + R/S$ voisin de 0,04). Par contre, les quantités non restituées, notamment les exportations par les fèves, sont importantes. On note en effet que le rapport E/R est voisin de l'unité (0,9), ce qui signifie que les quantités enlevées au sol sont presque égales à celles qui lui sont restituées. Des déficiences sont donc susceptibles d'apparaître, notamment dans le cas d'années exceptionnelles où la production est supérieure à la moyenne admise.

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

Dans l'écosystème forestier que constitue une plantation âgée de cacaoyers, une étude du bilan des échanges de matière a été entreprise au Centre de recherches de l'IFCC de Yaoundé (Cameroun) pendant plus de deux années consécutives.

Cette zone culturale camerounaise est caractérisée par un climat subéquatorial de type tétraorique, avec un régime pluviométrique annuel comportant une alternance de deux saisons pluvieuses et de deux périodes de sécheresse relative. Ces deux dernières étant souvent peu accentuées, la cacaoyère se présente comme un milieu fermé et confiné où l'humidité ambiante reste donc élevée pendant la plus grande partie de l'année. Comme dans tous ces

types d'écosystème, le sol et l'atmosphère constituent la source primaire essentielle d'éléments indispensables.

Le sol est de type ferrallitique, argilo-sableux, à horizon superficiel faiblement humifère; il se caractérise, dans ces mêmes horizons, par sa richesse en calcium et magnésium échangeables, mais on ne peut, par contre, y déceler que de faibles quantités de potassium susceptibles d'être utilisées par les plantes; comme dans la plupart des sols tropicaux de ce type, il manque de phosphore assimilable; bien que les quantités d'azote total y soient importantes, il est probable que la fraction minéralisée assimilable n'est représentée qu'en faible proportion.

Les eaux météoriques sont surtout riches en azote. Elles en apportent environ 12 kg/ha/an. Les autres éléments n'y sont représentés qu'en proportion très faible : 1 à 2 kg/ha/an de phosphore et de magnésium, 4 kg de calcium. Leur richesse exceptionnelle en potassium (12 kg/ha/an) provient peut-être du transport, par le vent, d'eaux de pluie, qui ont pu lessiver préalablement les couronnes des arbres situés au voisinage de la plantation.

Une partie importante des éléments qui s'accablent dans cette phytocénose est restituée au sol au cours des processus de pluviollessivage et de décomposition des litières.

Sous ce type de climat, le pluviollessivage du couvert végétal par les chutes d'eau prend une importance de tout premier plan. Par son intermédiaire, il est restitué au sol annuellement et par ha : 5 à 6 kg d'azote, 1 à 2 kg de phosphore, 75 à 100 kg de potassium, 35 à 40 kg de calcium et 30 à 75 kg de magnésium environ. A ces quantités s'ajoutent celles directement apportées par l'atmosphère.

L'importance des quantités de potassium mises en jeu dans ce cycle annuel, en regard des faibles teneurs échangeables du sol, permet de penser que cet élément existe intégralement sous une forme très soluble dans la plante.

Dans cette zone culturale, où l'ombrage naturel tend à disparaître étant donné l'âge des plantations, la production totale de litière sèche varie entre 6 et 8,5 t/ha/an. Elle est composée de 60 à 70 % de feuilles, 22 à 30 % de bois et 7 à 10 % de fleurs et de fruits. La contribution maximale représentée par les essences naturelles qui subsistent comme ombrage varie entre 2 et 3 t/ha/an. L'essentiel des apports de matière provient donc des cacaoyers. Par leur intermédiaire, le sol bénéficie d'un apport annuel et par hectare cultivé de 50 à 55 kg d'azote, 3,5 à 4 kg de phosphore, 35 à 40 kg de potassium, 90 kg de calcium et 25 kg de magnésium environ. Les feuilles, éléments essentiels de cette litière, se décomposent rapidement à partir du moment où les pluies deviennent suffisamment importantes. Au cours des six premiers mois qui suivent la période de chute maximale, les pertes en matière sèche s'échelonnent entre 25 et 35 % du poids initial. Au bout d'un an, ce taux est voisin de 75 % dans tous les cas. L'ombrage naturel augmente la vitesse de cette décomposition au cours des six premiers mois. Ceci sans doute grâce à la valeur un peu plus élevée de l'humidité ambiante qui favorise l'activité des organismes du sol.

La restitution au sol des éléments minéraux majeurs des litières est d'autant plus grande qu'ils se trouvent dans tous les tissus sous des formes plus solubles. C'est ainsi que les trois quarts du potassium disparaissent au bout de trois mois. Ce taux atteint 90 % dès la fin du sixième mois, alors que les

feuilles sont encore entières sur le sol. Les autres éléments, qui se trouvent sous des formes minérales insolubles ou impliqués dans des combinaisons organiques plus ou moins complexes, se libèrent plus lentement. Leur retour au sol devient important à partir du moment où les feuilles se fragmentent par décomposition et perdent leur structure d'origine. C'est le cas du calcium et du magnésium. L'azote et le phosphore se libèrent plus lentement et plus progressivement encore, sans doute à cause de leur nature essentiellement organique. Dans tous les cas, ces phénomènes sont étroitement liés à la pluviosité, qui favorise le lessivage des sels et qui entretient une humidité du milieu favorable à l'activité des micro-organismes du sol.

Parallèlement à ces restitutions, qui réalimentent constamment le cycle qui s'établit dans cet écosystème, il existe une exportation importante de matière par les récoltes, qui constituent le but économique de cette culture. L'analyse minérale des constituants des cabosses montre leur richesse en phosphore, azote et potassium. Les deux premiers sont surtout exportés par les fèves, le potassium par les coques. Ces éléments risquent donc de manquer si ces exploitations atteignent un niveau moyen ou élevé de productivité. Les coques, qui en exportent des quantités relativement importantes, sont difficilement restituables aux plantations. Il est en effet douteux que cette opération soit économiquement rentable. Cette matière, non enfouie dans le sol, risque en outre de constituer une source de développement de la pourriture brune.

Partant de tous les éléments de ce bilan, il est théoriquement possible de chiffrer les besoins d'une cacaoyère non ombragée, en fonction de son niveau productif. Lorsqu'on connaît les quantités d'éléments retenues (exportations par les récoltes, stocks dans les charpentes) et celles qui sont restituées (pluviollessivage, litières), leur somme représente les besoins de l'unité de surface plantée. En principe, ceux-ci sont largement couverts par les réserves disponibles du sol. Mais ce bilan global ne tient pas compte de la répartition des besoins de cette culture au cours de l'année. Leur connaissance peut en effet faire apparaître des déficiences provisoires à un stade bien déterminé du cycle de développement des cacaoyers, même si le bilan annuel est positif. Le problème de la fertilisation minérale peut être l'un des aboutissements pratiques de cette étude.

REMERCIEMENTS

Les analyses minérales ont été effectuées, sur poudres végétales, par Mme CAS, chimiste au laboratoire de physiologie végétale des SSC (ORSTOM) à Bondy ; sur les sols et eaux, par MM. NALOVIC et LENELLE, chefs du laboratoire de chimie des sols du Centre ORSTOM de Yaoundé.

L'auteur tient donc à les associer à ce travail et à leur exprimer ses plus vifs remerciements.

BIBLIOGRAPHIE

- ALVIM (P. de T.), 1965. — Ecophysiology of the cacao tree. Première Conf. Intern. Rech. Cacaoyères, Abidjan, 23-35.
- BAZILEVICH (N. I.), DROZDOV (A. V.), RODIN (L. E.), 1971. — World forest productivity, its basic regularities and relationships with climatic factors. Prod. écosyst. forest. (Bruxelles, 1969), Ed. UNESCO, Paris, 345-353.
- BÉNAC (R.), DEJARDIN (J.), 1970. — Essai d'engrais sur cacaoyers au Cameroun (région de Yaoundé). *Café Cacao Thé* (Paris), XIV, 1, 13-27.
- BERNHARD (F.), 1970. — Etude de la litière et de sa contribution au cycle des éléments minéraux en forêt ombrophile de la Côte d'Ivoire. *Oecol. Plant.*, 5, 247-266.
- BOYER (J.), 1970. — Influence des régimes hydrique, radiatif et thermique du climat sur l'activité végétative et la floraison de cacaoyers cultivés au Cameroun. *Café Cacao Thé* (Paris), XIV, 3, 189-201.
- BOYER (J.), 1971. — Etude des principales composantes du microclimat d'une cacaoyère au Cameroun. Importance écologique des variations spatiales et saisonnières. *Café Cacao Thé* (Paris), XV, 4, 275-300.
- BOYER (J.), 1972. — Evolution saisonnière de la production de litière et de la décomposition des feuilles dans une cacaoyère camerounaise. Quatrième Conf. Intern. Rech. Cacaoyères, Trinidad.
- BRINKMANN (W. L. F.), 1972. — Nutrient cycling in natural regions of Central Amazonia. VI. Soluble calcium. Seminar for trop. ecol. CEPLAC-CEPEC (Brésil), juin.
- DENAEYER-DE SMET (S.), 1966. — Bilan annuel des apports d'éléments minéraux par les eaux de précipitation sous couvert forestier dans la forêt mélangée caducifoliée de Blaimont (Virelles-Chimay). *Bull. Soc. Roy. Bot. Belg.*, 99, 345-375.
- DENAEYER-DE SMET (S.), 1971. — Teneurs en éléments biogènes des tapis végétaux dans les forêts caducifoliées d'Europe. Prod. écosyst. forest. (Bruxelles, 1969), Ed. UNESCO, Paris, 515-524.
- DILMY (A.), 1971. — The primary productivity of equatorial tropical forests in Indonesia. Prod. écosyst. forest. (Bruxelles, 1969), Ed. UNESCO, Paris, 333-337.
- DUVIGNEAUD (P.), DENAEYER-DE SMET (S.), 1964. — Le cycle des éléments biogènes dans l'écosystème forêt. *Lejeunia*, 28, 1-148.
- DUVIGNEAUD (P.), DENAEYER-DE SMET (S.), 1971. — Cycle des éléments biogènes dans les écosystèmes forestiers d'Europe (principalement forêts caducifoliées). Prod. écosyst. forest. (Bruxelles, 1969), Ed. UNESCO, Paris, 527-542.
- DUVIGNEAUD (P.), FROMENT (A.), 1969. — Recherches sur l'écosystème forêt-éléments biogènes de l'édaphotope et phytocénose forestière. *Bull. Inst. Rech. Sc. Nat. Belg.*, 45, 25.
- ELLENBERG (H.), 1971. — Nitrogen content, mineralization and cycling. Prod. écosyst. forest. (Bruxelles, 1969), Ed. UNESCO, Paris, 509-514.
- HOPKINS (B.), 1966. — Vegetation of the olokemeji forest reserve, Nigeria. IV. The litter and soil, with special reference to their seasonal changes. *J. Ecol.*, 54, 687-703.
- JENNY (H.), GESSEL (S. P.), BINGHAM (F. T.), 1944. — Comparative study of decomposition rates of organic matter in temperate and tropical regions. *Soil Sc.*, 68, 419-432.
- KIRA (T.), OGAWA (H.), 1971. — Assessment of primary production in tropical and equatorial forest. Prod. écosyst. forest. (Bruxelles, 1969), Ed. UNESCO, Paris, 309-321.
- LAUDELOUT (M.), MEYER (J.), 1954. — Les cycles d'éléments minéraux et de matière organique en forêt équatoriale congolaise. Cinquième Congrès Intern. Sc. Sol, 2, 267-272.
- LEMÉE (G.), 1959. — Effets des caractères du sol sur la localisation de la végétation en zones équatoriale et tropicale humide. Coll. UNESCO/CCTA, Abidjan, 21 p.
- LEMÉE (G.), BICHAUT (N.), 1971. — Recherches sur les écosystèmes des réserves biologiques de la forêt de Fontainebleau. I. — Production de litière et apport au sol d'éléments minéraux majeurs. *Oecol. Plant.*, 6, 133-149.
- LUTZ (H. J.), CHANDLER (R. F.), 1955. — Forest soils. John Wiley & Sons Inc. (New York).
- MADGE (D. S.), 1967. — Leaf fall and litter disappearance in a tropical forest. *Pedobiologia*, 5, 272-288.
- MANN (C. E. T.), WALLACE (T.), 1925. — The effects of leaching with cold water on the foliage of the apple. *J. Pomol. a. Hort. Sc.*, 4, 146-161.
- NYE (P. H.), 1961. — Organic matter and nutrient cycles under moist tropical forest. *Plant and soil*, 13, 333-346.
- OVINGTON (J. D.), 1962. — Quantitative ecology and the woodland ecosystem concept. *Add. Ecol. Res.*, 1, 103-192.
- RAPP (M.), 1967. — Etude expérimentale de la libération d'éléments minéraux lors de la décomposition, de litières d'essences méditerranéennes. *C. R. Acad. Sc. (Paris)*, 264, 797-800.
- RAPP (M.), 1967. — Production de litière et apport au sol d'éléments minéraux et d'azote dans un bois de pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.). *Oecol. Plant.*, 2, 325-338.
- RAPP (M.), 1969. — Apport d'éléments minéraux au sol par les eaux de pluviollessivage sous des peuplements de *Q. ilex* L., *P. lanuginosa* Lamk et *P. halepensis* Mill. *Oecol. Plant.*, 4, 71-92.
- RENNIE (P. J.), 1957. — Les prélèvements des éléments nutritifs des forêts exploitées et leur importance sur les sols pauvres pour la production du bois. *Rev. For. française*, 7, 529-545.
- RODIN (L. E.), BAZILEVITCH (N. I.), 1967. — Production and mineral cycling in terrestrial vegetation. Oliver and Boyd (Edimbourg, Londres), 288 p.
- RODRIGUEZ (M.), 1965. — Lixiviación de potasio, magnesio y calcio del follaje de plantas de cacao por efecto de una lluvia artificial. M. S. These Inst. Interam. de Ciencias Ag. (OEA), Turrialba, Costa Rica.
- SCHNOCK (G.), GALOUX (A.), 1967. — Recherches sur l'écosystème forêt. Réception des précipitations et écoulement le long des troncs en 1966. *Bull. Inst. Roy. Sc. Belg.*, 43, 37, 1-15.
- STENLID (G.), 1958. — Salt losses and redistribution of salt in higher plants. *Hdb. der Pflanzenphysiol.*, IV, 615-637.
- TSUTSUMI (T.), 1971. — Accumulation and circulation of nutrient elements in forest ecosystems. Prod. écosyst. forest. (Bruxelles, 1969), Ed. UNESCO, Paris, 543-552.
- WITKAMP (M.), 1971. — Forest soil microflora and mineral cycling. Prod. écosyst. forest. (Bruxelles, 1969), Ed. UNESCO, Paris, 413-424.
- WITKAMP (M.), VAN DER DRIFT (J.), 1961. — Breakdown of forest litter in relation to environmental factors. *Plant and soil*, 15, 295-311.

BOYER (J.). — **Cycles de la matière organique et des éléments minéraux dans une cacaoyère camerounaise.** *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XVII, n° 1, janv.-mars 1973, p. 3-24, fig., tabl., réf.

L'auteur étudie les besoins des cacaoyers en éléments majeurs indispensables et leur fertilisation minérale, dans trois conditions différentes d'environnement (absence d'ombrage, ombrage léger, ombrage moyen ou modéré), d'une plantation de type familial (1,5 ha) au Cameroun et caractérisée par un climat sub-équatorial et un sol de type ferrallitique.

Des précisions quantitatives sur les phases du cycle minéral et organique permettent d'établir que :

— les principales sources d'éléments nutritifs (les bases échangeables Ca^{++} , K^+ , Mg^{++} , le phosphore assimilable et l'azote total) sont : le milieu naturel, l'eau de pluie et le pluviolessivage du couvert végétal, la litière composée de feuilles, bois, fleurs et fruits ;

— les exportations d'éléments nutritifs sont dues à l'immobilisation des éléments dans les charpentes et à la récolte des fruits.

La vitesse de libération des éléments minéraux majeurs est par ordre décroissant $K > Mg > Ca > N > P$ et l'étude expérimentale de cette libération met en évidence l'importance de l'action des micro-organismes du sol dans les processus de décomposition des litières.

Cette étude permet de dresser un bilan annuel des éléments minéraux dans une plantation de cacaoyers non ombragés, âgés d'une trentaine d'années et les rapports existant entre les diverses composantes du bilan minéral dans cette même plantation : quantités d'éléments restituées au sol, quantités non restituées, quantités totales absorbées par la végétation, réserves totales du profil cultural.

Ce bilan global permet de chiffrer les besoins de la cacaoyère en fonction de son niveau productif ; il ne tient cependant pas compte de la répartition des besoins au cours de l'année. Cette connaissance peut faire apparaître des déficiences provisoires à un stade bien déterminé du cycle de développement, même si le bilan global annuel est positif.

BOYER (J.). — **Zyklen der organischen Substanz und der Mineralstoffe in einer Kakaopflanzung Kameruns.** *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XVII, n° 1, janv.-mars 1973, p. 3-24, fig., tabl., réf.

Der Autor untersucht die Bedürfnisse der Kakaobäume an unentbehrlichen Hauptstoffen und ihrer mineralischen Düngung unter drei verschiedenen Umgebungsverhältnissen (Abwesenheit von Beschattung, leichte Beschattung, mittlere oder mässige Beschattung) einer Familienpflanzung (1,5 Ha) im Kamerun, die ein Subäquatorial-Klima und einen Boden ferrallitischer Art aufweist.

BOYER (J.). — **Organic matter and mineral element cycles in a Cameroon cacao plantation.** *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XVII, n° 1, janv.-mars 1973, p. 3-24, fig., tabl., réf.

The author studied the needs of cacao trees as far as indispensable major elements are concerned and their mineral fertilization under three environmental conditions (absence of shading, light shading, average or moderate shading) in a plantation of the family type (1.5 ha) in Cameroon, characterized by a subequatorial climate and a soil of the ferrallitic type.

Quantitative indications regarding the phases of the mineral and organic cycle make it possible to state that :

— the main sources of nutrients (exchangeable bases Ca^{++} , K^+ , Mg^{++} , assimilable phosphorus and total nitrogen) include the natural environment, rain water, washing by rain of the plant cover, the bed composed of leaves, wood, flowers and fruits ;

— exports of nutrients are due to the immobilization of the elements in the frameworks and to fruit harvesting.

The rate of liberation of the major mineral elements is in decreasing order : $K > Mg > Ca > N > P$ and the experimental study of this liberation shows the importance of the action of micro-organisms in the soil, in the bed decomposition processes.

This study makes it possible to set up an annual balance of the mineral elements in a plantation consisting of unshaded, approximately thirty year old cacao trees, and to specify the existing relationships between the various components of the mineral balance in this same plantation : quantities of elements returned to the soil, quantities not returned, total quantities absorbed by plants, total reserves of the agricultural profile.

This overall balance makes it possible to calculate the needs of the cacao plantation as a function of its productive level ; it does not take into account, however, the distribution of needs throughout the year. This information might bring out temporary deficiencies at a well determined stage of the development cycle even if the overall annual balance is positive.

BOYER (J.). — **Ciclos de la materia orgánica y de los nutrientes en un cacaoal camerunés.** *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XVII, n° 1, janv.-mars 1973, p. 3-24, fig., tabl., réf.

El autor estudia los requerimientos de nutrientes indispensables al cacao y su fertilización mineral en tres condiciones de ambiente diferentes (ausencia de sombra, sombra ligera, sombra mediana o moderada), en un cacaoal de tipo familiar (1,5 ha) situado en el Camerún y caracterizado por un clima subecuatorial y un suelo de tipo ferrallítico.

Gracias a unas determinaciones cuantitativas relativas

Nähere quantitative Angaben über die Phasen des mineralischen und des organischen Zyklus führen zur Feststellung dass :

— das natürliche Milieu, das Regenwasser, das Auswaschen der Pflanzendecke durch den Regen, die aus Blätter, Holz, Blumen und Früchten bestehende Bodenbedeckung, die wesentlichen Quellen der Nährstoffe (die austauschbaren Basen Ca^{++} , K^+ , Mg^{++} , der assimilierbare Phosphor und der Gesamtstickstoff) bilden ;

— der Nährstoffzug durch die Immobilisierung der Stoffe in dem Holz und durch die Ernte bewirkt wird.

Die Freisetzung der Hauptmineralstoffe erfolgt bei abnehmender Schnelligkeit in folgender Reihenfolge $\text{K} > \text{Mg} > \text{Ca} > \text{N} > \text{P}$ und die Experimentaluntersuchung dieser Freisetzung unterstreicht die Bedeutung der Tätigkeit der Mikroorganismen des Bodens bei dem Zersetzungsprozess der Bodenbedeckung.

Diese Untersuchung ermöglicht eine jährliche Bilanz der Mineralstoffe in dieser aus unbeschatteten etwa dreissigjährigen Kakaobäumen bestehenden Pflanzung sowie die Beziehungen aufzustellen, die zwischen den verschiedenen Bestandteilen dieser mineralischen Bilanz in der selben Pflanzung bestehen : dem Boden zurückgeführte Stoffmengen, nicht zurückgeführte Mengen, totale von der Vegetation aufgenommenen Mengen, Totalreserven des landwirtschaftlichen Profils.

Diese Gesamtbilanz ermöglicht die Bedürfnisse der Kakao-pflanzung in Abhängigkeit vom Stande ihres Ertrags in Zahlen auszudrücken ; sie berücksichtigt jedoch nicht die Verteilung der Bedürfnisse im Laufe des Jahres. Dieses Kenntnis kann vorläufige Karenz in einem bestimmten Stadium des Entwicklungszyklus hervorheben lassen, sogar wenn die jährliche Gesamtbilanz sich als positiv erweist.

a las fases del ciclo mineral y orgánico es posible afirmar que :

— las principales fuentes de nutrientes (las bases cambiables Ca^{++} , K^+ , Mg^{++} , el fósforo asimilable y el nitrógeno total) son : el medio natural, el agua llovediza, la pluvio-livivación de la cobertura vegetal, la cama de hojas, leña, flores y frutos ;

— las exportaciones de nutrientes se deben a la inmovilización de los nutrientes en la leña y a la recolección de las mazorcas.

La velocidad de liberación de los nutrientes es, en orden decreciente, $\text{K} > \text{Mg} > \text{Ca} > \text{N} > \text{P}$ y el estudio experimental de esta liberación pone de relieve la importancia de la acción de los microorganismos del suelo en los procesos de descomposición de las camas de hojas, leña, etc...

Gracias a este trabajo, se ha podido establecer un balance anual de los nutrientes en el cacaotal sin sombra objeto del estudio, poblado de árboles de unos treinta años de edad, así como de las relaciones existentes entre los varios componentes del balance mineral en el mismo cacaotal : cantidades de nutrientes restituidas al suelo, cantidades no restituidas, cantidades totales absorbidas por la vegetación, reservas totales del perfil del cultivo.

Gracias al balance global se ha logrado determinar los requerimientos del cacaotal en función de su nivel de producción ; pero el balance no tiene en cuenta la repartición de dichos requerimientos a lo largo del año. Este conocimiento puede dejar ver ciertas deficiencias provisionales en una etapa bien determinada del ciclo de desarrollo, aún si el balance global anual es positivo.