

## Importance et distribution des racines et des êtres vivants dans un « latossol » argileux sous forêt amazonienne

PAR

A. CHAUVEL \*, J.-L. GUILLAUMET \*\* et H. O. R. SCHUBART \*\*

\* ORSTOM et Laboratoire de Pétrologie de la Surface. Université de Poitiers,  
40, avenue du Recteur Pineau, 86022 Poitiers, France

\*\* Département d'Écologie. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia.  
C. P. 478, 69000 Manaus Am. Brésil. (Accord CNPq-ORSTOM)

**Synopsis:** The sustained efficiency of a dystrophic Amazonian forest ecosystem appears to be dependent on the distribution of roots and living organisms in the soil, since it is through them that is carried out most of the recycling of nutrients.

**Keywords:** Amazonian forest, Pedo-biological profile, Ferrallitic soil, Root, Soil fauna, Biomass, Nutrients cycle.

### INTRODUCTION

La couverture pédologique de la partie centrale du bassin amazonien est constituée principalement par des « latosols jaunes argileux » développés sur des sédiments continentaux tertiaires. Ces sols sont recouverts par une forêt dense, humide, sempervirente.

Nous nous proposons dans cette étude d'analyser la répartition verticale des organismes vivants (racines, microorganismes, animaux) dans un sol, en relation avec l'ensemble de ses caractéristiques (distribution des composés organiques et des éléments minéraux, texture, organisation structurale et microstructure).

Reçu le 15-11-85.

Accepté le 8-3-87.



REVUE D'ÉCOLOGIE ET DE BIOLOGIE DU SOL - 0035-1822/87/01 19 30 \$ 5.00 © Gauthier-Villars

ORSTOM Fonds Documentaire

N° : 25140 ex1

72 Cote : B

M Date : 880711

L'objectif de l'étude est d'évaluer la relation entre : — la dégradation des sols consécutive au défrichement de la forêt primaire, au brûlis et à l'action décapante et compactante des engins mécaniques ; — l'occupation des sols par les organismes vivants (racines et faune). Le premier stade de ce type de recherche (pour le secteur le plus proche, en Guyane, BETSCH *et al.*, 1980) est l'acquisition d'une connaissance de l'état de référence, sous forêt primaire.

Ce travail s'intègre dans un ensemble de recherches entreprises par l'INPA (« Instituto Nacional de Pesquisas da Amazonia ») depuis 1979 à la Station Expérimentale de Sylviculture Tropicale, située à 60 kilomètres au nord de Manaus. Le programme intitulé « Manejo ecológico e exploração da floresta tropical úmida » s'applique à trois bassins hydrographiques\* : le premier est pris comme témoin pour l'étude du fonctionnement d'un système forestier naturel (système de référence), le troisième doit être soumis à différents types d'aménagements forestiers (coupes sélectives), afin d'y suivre les modifications de fonctionnement ainsi provoquées, le deuxième bassin, intermédiaire, sert de zone protectrice entre les deux précédents.

Le profil étudié a été choisi dans le premier bassin, sur un plateau caractérisé par une remarquable homogénéité des sols, à l'amont d'une toposéquence située au km 14 de la route ZF2. Cette localité a déjà été étudiée sous divers aspects et continue de l'être. Le travail présenté ici se veut une première contribution, multidisciplinaire, à un aspect de l'écosystème forestier humide inter-tropical, d'importance fondamentale, mais toujours étudié d'une façon trop partielle. Nous avons voulu y réunir quelques données, fragmentaires certes, mais de bases, relevant de la botanique, de la zoologie et de la pédologie.

Pour ce faire, le profil choisi a été considéré en tant que référence en un endroit précis et à une époque donnée. Un des intérêts était de procéder à l'analyse fine, sinon complète, des horizons pédologiques supérieurs jusqu'à une profondeur où l'activité biologique actuelle apparaît très limitée. Il est bien évident que dans ces conditions (rappelons que la majorité des études portant sur la faune du sol ne se réfère qu'aux premiers centimètres), il n'était pas envisageable de procéder à un échantillonnage complexe, dans l'espace comme dans le temps, permettant un traitement statistique.

## I. — MATÉRIEL ET MÉTHODES

### A) Les conditions climatiques.

La région considérée est caractérisée par un climat tropical constamment chaud, les variations moyennes de température ne dépassant jamais 5° C, et humide avec cependant 2 mois, août et septembre, où, normalement, les précipitations sont inférieures à 60 mm (ce qui ne signifie pas pour autant que l'on puisse parler de saison sèche). La moyenne des précipitations annuelles, celles-ci très variables d'une année à l'autre, pour les stations proches varie de 2 100 à 2 400 mm.

Les différentes estimations de l'évapotranspiration potentielle avoisinent 1 500 mm/an (RIBEIRO, 1976 ; RIBEIRO et VILLA NOVA, 1979 ; RANZANI *et al.*, 1983). Sur les bassins de la Station expérimentale, l'évapotranspiration réelle a été estimée à 1 548,2 mm/an soit 74,1 %

\* « Acta amazonica » a consacré un supplément spécial en 1982 à l'étude de ces bassins expérimentaux.

de la pluviométrie moyenne annuelle totale (LEOPOLDO *et al.*, 1982), valeur bien proche des 73 % données pour MANAUS (VILLA NOVA *et al.*, 1976).

La quantité d'eau excédentaire varie de 400 à 700 mm tandis que le déficit, dû à la faible et assez irrégulière saison sèche, reste limité à quelques dizaines de mm (RIBEIRO, 1976 ; RIBEIRO et VILLA NOVA, 1979 ; RANZANI *et al.*, 1983). Ce qui signifie que, dans les conditions normales, la dessiccation du sol reste toujours faible, sous couvert forestier naturel (Fig. 1). La forêt tropicale humide, non dégradée, offre un écran protecteur au sol et « le microclimat endogène présente beaucoup moins de variations que le macroclimat ou même que le microclimat forestier. Ceci est vrai pour la température, l'humidité, la radiation, l'agitation de l'air et la source d'énergie » (MALDAGUE, 1970). A l'endroit de notre étude, la variation de température à la surface du sol n'a jamais, sur une période de 2 ans, excédé 4° C (OLIVEIRA, 1983).

Il en résulte que l'activité biologique n'est pas soumise, dans ces sols, à des variations saisonnières très importantes. Et bien que la population de Collemboles

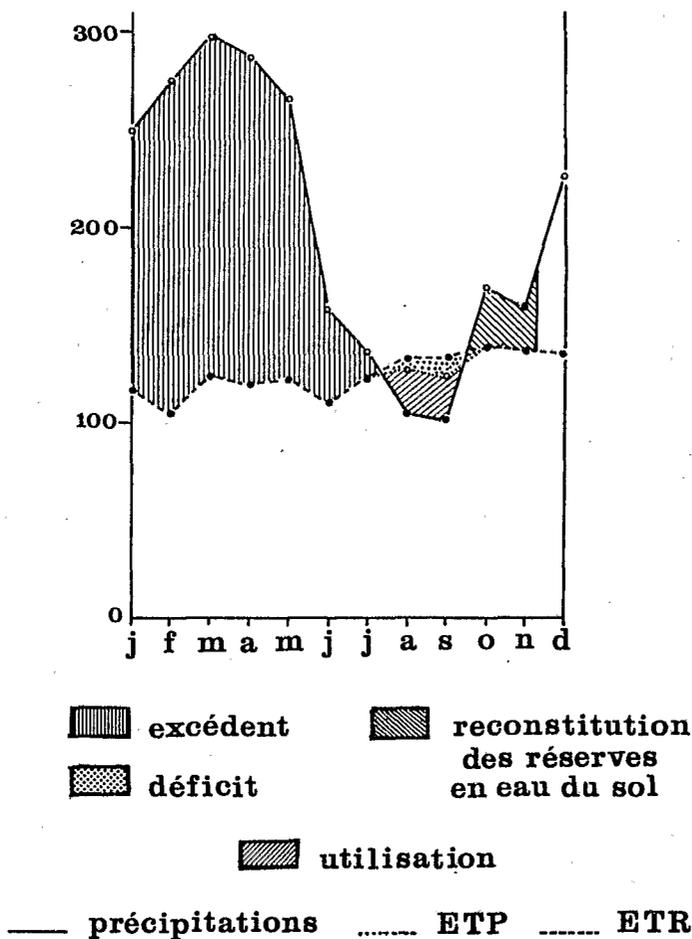


FIG. 1. — Balance hydrique selon THORNTHWAITE (1955) correspondant à la période 1971-1981 et pour une capacité de rétention en eau du sol de 125 mm (d'après RANZANI *et al.*, 1983).

épigés varie au cours de l'année dans une proportion inverse à la pluviosité, OLIVEIRA (1983) a montré qu'il n'y avait pas de corrélations significatives (test de SPEARMANN) avec les facteurs physiques tels que la pluviosité, la teneur en eau du sol, sa température et la chute de litière, mais qu'il y en aurait avec l'humidité relative de l'air à 30 cm du sol.

### B) Le sol.

Les sols des plateaux sont des « latossolos amarelos, alicos, textura argilosa » (PROJETO RADAMBRASIL, 1978 ; CAMARGO et RODRIGUES, 1979 ; RANZANI, 1980 ; CHAUVEL, 1982 ; LUCAS *et al.*, 1984), classés sols ferrallitiques fortement désaturés en B dans la classification française (AUBERT et SEGALIN, 1966) et haplorthox ou acrorthox selon la « Soil Taxonomy » (USDA, SOIL SURVEY STAFF, 1975).

Les altérations des sédiments détritiques tertiaires (Barreiras) qui constituent le matériau originel des couvertures pédologiques sont essentiellement constituées par des sables quartzeux, par de la kaolinite et par des hydroxydes de fer et d'aluminium. Les nombreuses analyses chimiques totales montrent que les teneurs en éléments nutritifs de ces matériaux sont généralement très faibles (de l'ordre de 0,05 % de CaO, MgO, K<sub>2</sub>O et de 0,01 % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Cette composition de la roche-mère explique à la fois la pureté des eaux (NORTCLIFF et THORNES, 1978) et la pauvreté chimique des sols, encore accrue par le lessivage.

### C) La végétation.

La forêt connue généralement au Brésil sous le nom de « floresta de terra firme » est du type dense humide sempervirent. On peut y distinguer 4 ensembles végétaux superposés :

- Arborescent supérieur dont les couronnes s'étagent sur trois niveaux entre 18 et 35 m,
- Arborescent moyen entre 8 et 16 m,
- Inférieur arbustif, entre 1,5 et 8 m, riche en palmiers,
- Inférieur arbustif et herbacé au-dessous de 1,5 m, également marqué par l'abondance de palmiers et la présence de quelques Monocotylédones herbacées, Marantacées et rares Cypéracées.

Sur 1 ha, le nombre d'arbres, palmiers et lianes d'un diamètre supérieur à 5 cm serait de 1.666 soit une aire basale de 48 m<sup>2</sup>/ha. Les gros diamètres sont rares et ne dépassent pas 70 cm, mais il y a un léger excédent dans les jeunes classes, jusqu'à 15 cm. Les lianes, d'un diamètre supérieur à 1 cm, sont peu nombreuses, moins de 300/ha, et ne jouent pas un rôle physiologique important, au contraire des palmiers omniprésents dans les étages inférieurs (GUILLAUMET et KAHN, 1982).

Les chutes de débris végétaux (feuilles mortes, rameaux et petites branches, fleurs et fruits à l'exclusion des troncs et branches importantes) représentent un poids de l'ordre de 7,5 t/ha/an dont 60 % de feuilles (LUIZÃO, 1982).

Cette forêt est-elle réellement primaire ? — Les fragments de charbon de bois présents dans les premiers 30 cm du sol seraient-ils les vestiges d'un incendie ancien et généralisé ? — Les concentrations, calculées entre les deux fosses, sont d'environ 14 g/dm<sup>3</sup> entre 10 et 20 cm de profondeur, 50 g/dm<sup>3</sup> entre 20 et 30 cm ; ce qui représenterait, si la répartition en était rigoureusement homogène, 625 kg/ha, soit à peu près 1 m<sup>3</sup>.

Les charbons de bois ne sont pas rares dans les sables blancs des forêts ouvertes dites « campinas » de cette région. Dans un de ces gisements, associés à des tessons de poterie, ils sont indiscutablement d'origine humaine et ont été datés du IX<sup>e</sup> siècle de

notre ère (PRANCE et SCHUBART, 1977). D'aspect grossier, on les rencontre en groupe important, alors que dans les latosols ce sont des fragments inférieurs au centimètre répartis d'une façon assez homogène et à une profondeur quasi constante.

Faut-il imaginer un incendie généralisé et un remaniement superficiel du sol par le jeu des remontées biologiques ?

Selon KOKONOVA (1961), de petites particules de charbon sont communes dans les horizons compacts, humides et mal aérés de sols de prairie, où elles se forment par « carbonisation » *in situ* de la matière végétale. DUPUIS *et al.* (1975) montrent également que la lignine peut subir, en place, une déméthoxylation, déshydroxylation et carbonisation partielle, qui conduit à des produits très comparables au charbon de bois sous forme de petites particules séparées avec l'humine par les méthodes de fractionnement.

Sans exclure la possibilité que la forêt ait été incendiée dans son ensemble, l'abondance croissante des charbons jusqu'à 30 cm et la généralité de cette distribution pourrait s'expliquer par le fait que cette profondeur — 1) correspond au niveau où les racines les plus grosses deviennent à nouveau les plus nombreuses — 2) qu'elle correspond aussi au niveau où une aération limitée se prêterait le mieux à cette « carbonization » *in situ* des racines grossières.

#### D) Méthodologie.

Le sol a été étudié selon les méthodes classiques de la pédologie : description morpho-structurale du profil et colorations estimées avec le code Munsell, texture, matière organique, humidité contenue dans les échantillons séchés à l'air, pH de la suspension sol-eau de 1/2,5, somme des cations  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$  et capacité d'échanges exprimées en milli-équivalents pour 100 g de sol,  $P_2O_5$  assimilable selon la méthode de OLSEN.

Compte tenu de l'importance de la matière organique dans ces sols et de sa relation avec l'activité biologique, il est apparu important d'en effectuer une caractérisation par fractionnement selon la méthode de DABIN (1971). Les analyses ont été effectuées au Laboratoire du « Centro de Energia Nuclear na Agronomia » de l'Université de São Paulo (CENA/USP) sous la direction de C. CERRI.

La méthode de prélèvement des organismes vivants (racines, méso- et microfaune) est inspirée par celle qui fut utilisée par HUMBEL (1978) en Guyane française pour l'étude de la répartition verticale des racines : à un emplacement jugé représentatif et situé entre les arbres, on délimite deux surfaces contiguës de 1 m<sup>2</sup> ; le sol est prélevé couche par couche, de 10 en 10 cm jusqu'à 40 cm, puis de 20 en 20 jusqu'à 1,60 m. Cette méthode, outre sa facilité d'utilisation sur le terrain, a le mérite de ne pas définir de limites verticales *a priori*.

Les racines sont séparées manuellement (mais pour récupérer celles qui échappent à ce premier tri, un échantillon de 3 à 4 kg est prélevé dans chaque couche). Les racines sont lavées, séchées jusqu'à un poids constant, pesées globalement puis séparées en trois classes selon leur diamètre (inférieur à 2 mm, compris entre 2 et 10 mm, supérieur à 10 mm) et pesées à nouveau. Ceci à des fins de comparaison avec les rares travaux publiés sur ce sujet en forêt tropicale humide.

Puis par tamisage et lavage des fractions de terre réservées, on estime, en fonction du poids de terre, de sa densité apparente et du poids des racines contenues dans l'échantillon, l'importance des racines qui ont échappé au tri manuel. Cette dernière phase de l'opération est d'autant plus importante que pour ces petites racines ( $\varnothing < 2$  mm), la quantité ainsi séparée rapportée au volume peut représenter jusqu'à 7 fois le poids de racines issues du premier tri. On n'a pas considéré les racines dites d'ancrage, ni tenté la moindre identification. Outre que ce travail est pratiquement impossible en forêt tropicale, tout au plus aurion-nous pu signaler les racines de palmier, ce n'était pas dans l'objectif de cette étude.

L'évaluation de la *biomasse microbienne* à partir des échantillons de sol a été réalisée au laboratoire du CENA/USP selon la technique proposée par JENKINSON (1966) dont l'usage a fait abandonner les classiques numérations de germes moins précises (CHANSSON et NICOLARDOT, 1982; DASH *et al.*, 1985). Celle-ci consiste à tuer les microorganismes par des vapeurs de chloroforme puis à incuber l'échantillon traité après l'avoir réensemencé. Par rapport au sol témoin, l'échantillon soumis à une fumigation montre une phase de minéralisation très rapide. La quantité de gaz carbonique produit après l'incubation est proportionnelle à la biomasse microbienne qui peut être ainsi globalement évaluée.

Pour l'étude de la *faune du sol*, à l'exception de celle de la litière, on a d'abord procédé à la capture directe de tous les animaux visibles au moment du creusement de la tranchée et du tri des racines sur une bâche, dans les deux fosses, couche par couche, séparant ainsi la plus grande partie de la macrofaune. Dans la fosse II, à chaque niveau et au moment du creusement, trois échantillons supplémentaires ont été prélevés perpendiculairement aux parois avec une sonde métallique à section carrée de 5 cm de côté, sur une épaisseur de 3 cm. Trois échantillons de litière de mêmes dimensions ont été prélevés avant le creusement de la fosse. L'extraction des animaux de la mésofaune contenus dans ces échantillons de 75 cm<sup>3</sup> a été effectuée avec un appareil de type Berlese-Tullgren modifié.

Pour être en mesure d'apprécier les relations entre les êtres vivants, la matière organique, la matière minérale et les vides occupés par l'air ou par l'eau, on a prélevé, à chaque niveau étudié, des échantillons en prenant soin d'en conserver la structure et l'humidité. En pesant, par la suite, une partie de ces échantillons à l'état humide, puis à l'état sec, et en mesurant leurs volumes réels et apparents, on a déterminé le volume de la matrice et celui des vides occupés par de l'air et par de l'eau au moment du prélèvement. L'autre partie a été séchée puis imprégnée par une résine, préparée en lame mince et étudiée au microscope selon la méthode décrite par BREWER (1964).

## II. — RÉSULTATS ET DISCUSSION

### A) Le sol.

Les caractéristiques morphologiques du profil étudié sont les suivantes :

de 3 à 0 cm = horizon A00 : litière constituée de feuilles sèches, peu décomposées ; transition distincte.

de 0 à 2 cm = horizon A0/A1, brun-gris sombre (AO YR 5/2) ; mélange de débris végétaux bruns (fragments de feuilles et nombreuses racines fines) et d'agrégats (grumeaux) argileux brun sombre ; transition distincte.

de 2 à 10 cm = horizon A3 : brun (10 YR 5/3) ; très argileux ; en blocs subangulaires de dimensions centimétriques ; nombreuses racines moyennes et fines ; transition graduelle.

de 10 à 30 cm = horizon AB : jaune clair (10 YR 7/5), avec des taches brun clair (10 YR 6/3) correspondant à des concentrations de matière organique mélangée à l'argile ; très argileux en blocs angulaires et subangulaires ; poreux ; friable ; transition graduelle.

de 30 à 40 cm = horizon B1 : jaune clair (10 YR 7/5) ; très argileux ; massif ; peu poreux ; friable ; transition graduelle.

de 40 à 140 cm = horizon B21 jaune clair (9 YR 6,5/6) ; très argileux ; micro-agrégé ; poreux ; très friable ; transition graduelle.

de 140 à 160 cm = horizon B22 : jaune (10 YR 7/6) ; très argileux ; micro-agrégé ; moins poreux ; à porosité très fine, friable.

Les principales caractéristiques analytiques de ce sol sont regroupées dans le Tableau I et sur la Figure 5.

TAB. I

## Caractéristiques analytiques du sol étudié

HORIZONS PROFONDEUR	ARGILE % 1	SILT % 2	SABLE % 3	MATIÈRE ORGAN. 4	HUMIDITÉ (105°: % 5	pH 6	S me/100 g 7	T me/100 g 8	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ASS. 9	POROSITÉ % DU VOL.
A0/A1 0-2 cm.....	54,8	14,8	12,5	13,9	4,0	4,9	5,4	26,5	0,028	80
A3 2-10 cm.....	80,5	1,3	11,1	5,0	2,1	4,3	0,47	10,5	0,015	67
AB 10-30 cm.....	83,6	1,3	10,5	2,2	1,8	4,6	0,34	5,0	0,008	51
B1 30-40 cm.....	84,5	1,2	10,6	2,0	4,7	4,7	0,27	5,0	0,003	50
B21 40-140 cm...	88,0	1,4	7,3	1,0	1,7	5,2	0,21	2,5	0	54
B22 140-160 cm...	89,1	2,1	6,6	0,8	1,5	5,3	0,21	2,0	0	52

1 + 2 + 3 + 4 + 5 = 100; 5 : humidité contenue dans les échantillons séchés à l'air; 6 : pH de la suspension sol-eau de 1/2,5; 7 : S = somme des cations Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>; 8 : capacité d'échange des cations; 9 : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> assimilable (OLSEN).

Plusieurs conclusions ressortent de ces données :

1° Le sol étudié est principalement constitué par de l'argile plastique et pénétrable par les organismes vivants.

2° La matière organique est relativement abondante dans ces sols : sa teneur est élevée dans les horizons humifères (A0/A1, A3), elle diminue progressivement avec la profondeur (0,8 % dans l'horizon B22). Une évaluation de la quantité totale, exprimée en poids sec, pour 1,5 mètre de profondeur, donne près de 250 t/ha\* soit près de la moitié de la biomasse aérienne, estimée à près de 500 t/ha pour la région de Manaus (KLINGE, 1976).

3° Les mesures de pH indiquent une acidité élevée dans l'horizon A3 (pH 4,3) qui s'atténue en profondeur.

4° La plus grande partie des éléments minéraux sous les formes les plus facilement assimilables ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  = S et  $\text{P}_2\text{O}_5$  ass.) est

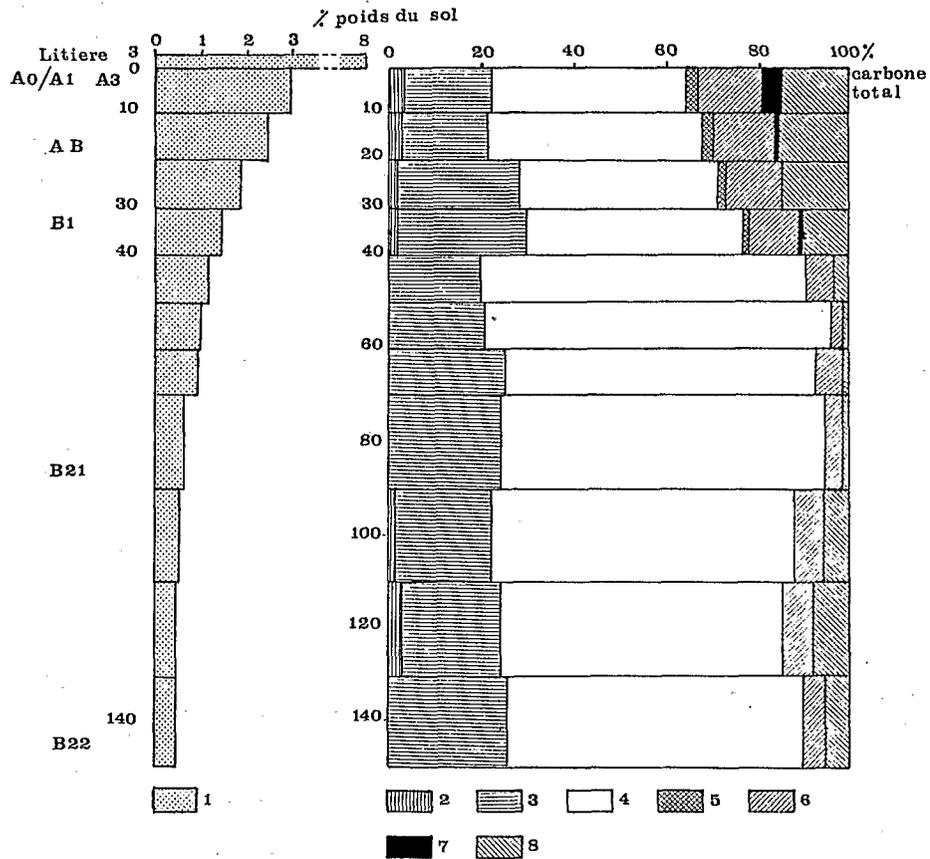


FIG. 1. — Variation verticale des teneurs en carbone total (1) et des proportions relatives des fractions de l'humus : matière légère (2), — acides fulviques libres (3), — humine (4), — acides humiques et fulviques extraits par la soude (5 et 6), — et extraits par le pyrophosphate (7 et 8).

\* Chiffre comparable à celui de KLINGE (1976) : 223 t/ha.

concentrée dans les horizons superficiels (A0/A1 et A3, en moindre quantité dans AB et B1). Les horizons situés à plus de 40 cm de profondeur en sont presque dépourvus. Au total, les quantités disponibles sont très réduites.

Les résultats de l'analyse de la matière organique sont représentés graphiquement sur la Figure 2.

La séparation densimétrique dans  $H_3PO_4$  0,1 M, après élimination de la fraction végétale par tamisage ( $\varnothing < 2$  mm) montre qu'il reste très peu de matière organique légère (2) dans le sol. On constate que cette matière est seulement présente dans les horizons A0/A1, A3, AB et B1 (de 0 à 40 cm) et aussi dans l'horizon B21 de 90 à 130 cm (traces de racines profondes et/ou transport par les termites). A la présence de cette matière semblent correspondre des concentrations plus fortes en acides humiques et fulviques extraits par la soude (fractions 5 et 6). La plus grande partie du carbone total y est donc présente sous forme de fractions humiques :

— les acides fulviques libres (3), composés les plus mobiles formés par dégradation de la lignine dans les horizons humifères, sont présents dans l'ensemble du profil. Ils migrent en profondeur avec la solution du sol.

— L'humine (4) qui correspond à la fraction non extractible par la soude et par le pyrophosphate est largement représentée dès la surface et devient fortement dominante au-dessous de 40 cm de profondeur. Il s'agit sans doute essentiellement d'une humine de précipitation (DABIN, 1980-81), liée au support minéral, résistante à la biodégradation. Les fragments de charbon, non extraits par la soude, entrent également dans cette fraction.

— Les acides humiques et fulviques extraits par la soude (5 et 6) et par le pyrophosphate (7 et 8) ne sont bien représentés que dans les horizons A0/A1, A3, AB et B1. Il s'agit de produits relativement solubles, provenant de la décomposition des matières végétales. Leur rôle dans l'évolution du sol est important. C'est ainsi que VOLKOFF *et al.* (1982) ont mis en évidence l'augmentation de leurs proportions relatives au passage des latosols aux podzols.

De l'ensemble de ces résultats, on retient (D. RIGHI, comm. pers.) que les deux fractions dominantes sur l'ensemble du profil sont l'humine et les acides fulviques libres. Les acides fulviques libres sont des produits peu condensés. La fraction humine pourrait être également constituée de produits peu condensés mais rendus peu extractibles du fait de leur forte liaison avec la kaolinite. C'est seulement dans les horizons plus superficiels (A0/A1, A3, AB et B, de 0 à 40 cm) que sont décelées des quantités appréciables de produits organiques du type acides humiques et fulviques extractibles en milieu alcalin, résultant d'une humification plus poussée (polycondensation des molécules humiques), favorisée par l'action des microorganismes.

## B) Répartition des racines.

### 1. Répartition pondérale des racines en fonction de la profondeur.

On constate que d'une fosse à l'autre et pour une même profondeur, les valeurs obtenues\*, poids de chaque catégorie et poids total, exprimés en g/m<sup>2</sup>,

\* Les méthodes de prélèvement, de tri et de pesée ne justifient pas dans l'expression des résultats une précision supérieure au gramme.

(fig. 3), sont très différentes même si l'écart tend à se réduire avec la profondeur. Entre 0 et 10 cm par exemple, les poids varient de 2648 à 1712 g ; dans la première fosse les grosses racines représentent 42,3 % du total, tandis qu'elles sont absentes dans la seconde. Cependant, la différence entre les poids totaux des deux fosses reste faible : 5099 et 5900 g, soit dans la première fosse 14 % de moins que dans la seconde\*.

L'essentiel des racines est réparti dans les premiers 40 cm du sol (84,8 et 83 % du poids total dans les fosses I et II) et plus particulièrement encore dans les 20 premiers (65,9 et 57,3 %). Plus en profondeur, on note une zone d'accumulation entre 30 et 40 cm dans les deux fosses, et une seconde entre 60 et 80 cm seulement dans la première. Au-dessous de 1 m et jusqu'à 1,60 m dans la seconde fosse, les racines ne représentent plus que 4 % du total.

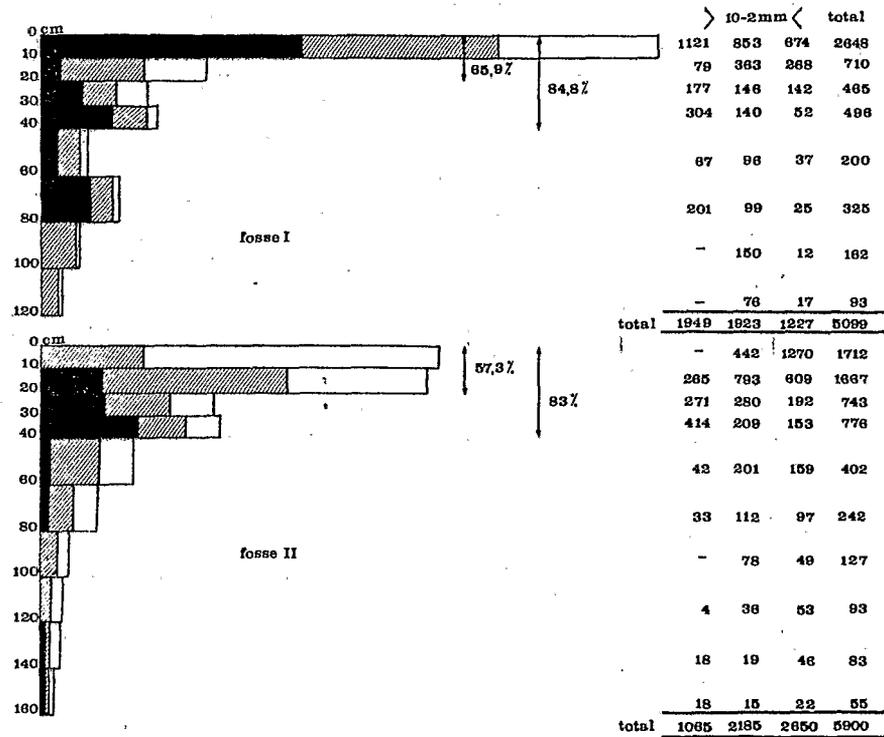


Fig. 3. — Répartition des racines (biomasse en poids sec).

Notre échantillonnage ne permet évidemment pas de tenir compte du système de grosses racines liées directement, superficiellement ou verticalement, aux troncs et il est bien évident que tout calcul de biomasse racinaire à partir de ces données serait sous-estimé.

\* Cette valeur reste bien supérieure aux 2,33 % que représente le poids des racines entre 120 et 160 cm, non évalué dans la fosse I.

La valeur moyenne (5500 g/m) est très voisine de celle obtenue par HUMBEL (1978), avec la même méthode, pour les sols ferrallitiques de Guyane française sur sédiments (5 300 g/m). La distribution des racines est, elle aussi, très comparable à celles obtenues sous forêts identiques et sur sols ferrallitiques à drainage profond en Guyane (HUMBEL, 1978) ou en Côte-d'Ivoire (HUTTEL, 1974).

## 2. Les racines inférieures à 1 mm de diamètre.

Les méthodes de prélèvement et d'extraction des racines ne permettent pas de distinguer les différents types fonctionnels de racines. Cependant comme le rappelle KAHN (1977), « les travaux physiologiques ne considèrent pas de nettes catégories racinaires... Néanmoins c'est au niveau racinaire le plus fin que ZIMMERMAN et BROWN situent l'absorption essentielle ». Il n'est pas possible par un examen rapide de mettre en relation diamètre et rôle des racines ; on peut cependant raisonnablement supposer que c'est dans la classe de diamètre inférieur à 2 mm que se situent l'essentiel des racines absorbantes (HUTTEL, 1969). Ce sont aussi ces racines fines physiologiquement actives qui sont susceptibles de porter des mycorhizes ectotrophes (ST JOHN,

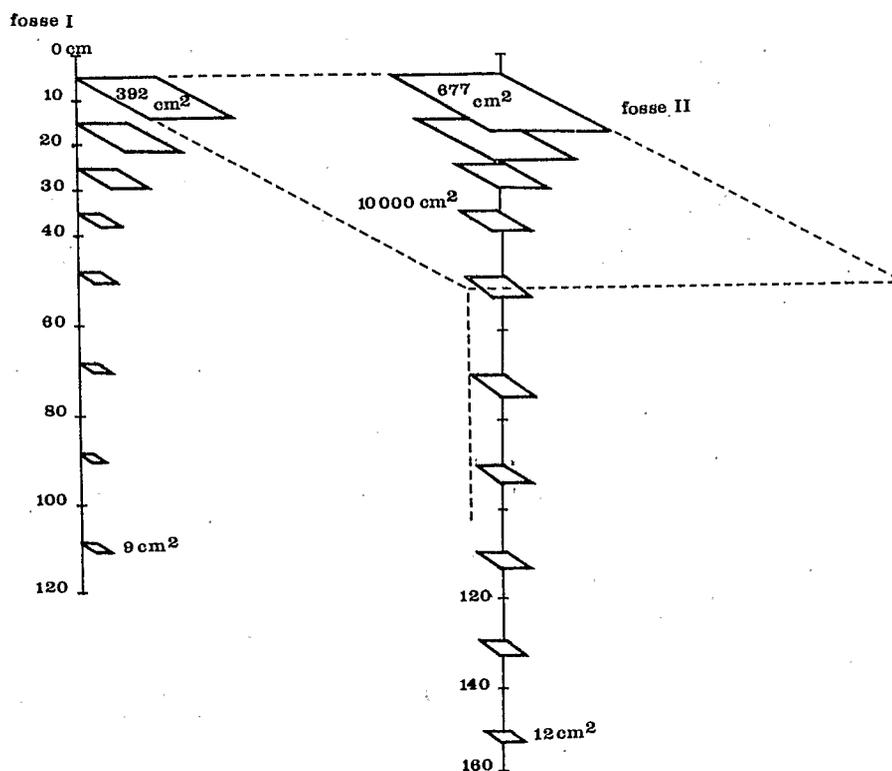


FIG. 4. — Représentation graphique de la surface extérieure des racines de diamètre inférieur à 1 mm.

1980). Or, si les fines racines occupent une place particulièrement importante dans les premiers 20 cm, allant jusqu'à peser près de 3 fois plus que les racines de diamètre supérieur dans la fosse II, elles continuent à avoir une grande importance en profondeur puisque leur poids, dans la même fosse entre 100 et 140 cm, est supérieur à celui des grosses racines. Par contre, la « charpente racinaire » au moins sa partie la plus fine, constituée par des racines de diamètre important (supérieur à 10 mm), est concentrée surtout à la périphérie des arbres, dans les 40 à 80 premiers centimètres.

La longueur des racines les plus fines, si approximative qu'en puisse être l'évaluation, donne une meilleure représentation de l'occupation de l'espace-sol que leur poids sec. Pour l'évaluer nous avons divisé un échantillon de racines de diamètre inférieur à 2 mm en 4 sous-échantillons (2 à 1,5 mm ; 1,5 à 1 mm ; 1 à 0,5 mm ; inférieur à 0,5 mm). A partir du poids de plusieurs fragments de longueurs identiques, nous avons calculé la longueur totale des racines de chaque sous-échantillon.

Il nous a paru préférable à l'examen du matériel, difficile étant donné les diverses manipulations qu'il a subies, de ne retenir que les racines d'un diamètre inférieur à 1 mm (les plus fines ne mesuraient que 0,02 mm) comme paraissant les plus actives au niveau de l'absorption. L'ensemble des 2 sous-classes les plus ténues représentent 80 % en poids des racines de diamètre inférieur ou égal à 2 mm.

TAB. II

Longueurs (en m) et surface extérieure des racines (en cm<sup>2</sup>) jusqu'à 1 mm de diamètre

Profondeur du sol en cm	FOSSE I			FOSSE II		
	Longueur en m	Surface en cm <sup>2</sup>	%	Longueur en m	Surface en cm <sup>2</sup>	%
0-10.....	1078	359	55,2	2032	677	49,8
10-20.....	428	142	21,8	974	325	23,9
20-30.....	227	75	11,5	307	102	7,5
30-40.....	83	26	4,0	164	55	4,0
40-60.....	59	20	3,0	174	58	4,3
60-80.....	40	13	2,0	155	52	3,8
80-100.....	19	6	0,9	78	26	1,9
100-120.....	27	9	1,4	85	28	2,5
120-140.....	—	—	—	74	25	1,8
140-160.....	—	—	—	35	12	0,9

A ces longueurs de racines fines, nous avons ajouté la surface latérale totale de ces racines (Tab. II). Les chiffres obtenus, représentés graphiquement sur la figure 4, nous paraissent très évocateurs d'une certaine réalité physiologique, même s'ils ne sont qu'indicatifs étant donné l'impossibilité avec la méthodologie utilisée d'appréhender les mécanismes et même tout simplement de séparer les racines vivantes des racines mortes. Le maximum de racines fines se situe donc dans les dix premiers centimètres (55,2 et 49,8 % du total), tandis que les 3/4 se limitent aux vingt premiers centimètres.

### C) Biomasse microbienne.

L'évaluation de la biomasse de microorganismes à partir de la quantité de carbone qu'ils contiennent montre (Tab. III et Fig. 5) l'existence d'un maximum accentué (44,2 %) dans les horizons A0/A1 et A3, de 0 à 10 cm ; plus en profondeur, la masse des microorganismes est encore appréciable dans l'horizon AB (23,2 % entre 10 et 20 cm, 21,4 % entre 20 et 30 cm) ; elle diminue rapidement au niveau de l'horizon B1, 30-40 cm (12,7 %) et devient trop faible en B21 pour que la mesure en soit significative.

TAB. III

Évaluation de la biomasse microbienne selon la profondeur

Horizons	Profondeur	Biomasse microbienne	
		Mg/100 g de sol	%
A0/A1, A3.....	0-10 cm	49,8	44,2
AB.....	10-20 cm	26,1	23,2
	20-30 cm	24,1	21,4
B1.....	30-30 cm	12,7	11,2
B21.....	> 40 cm	≈ 0	≈ 0

### D) La faune du sol.

La répartition de la faune du sol, plus encore que celle des racines, varie à la fois dans l'espace et selon les rythmes saisonniers. Il apparaît toutefois que le choix d'un emplacement favorable sur la surface homogène des plateaux et les dimensions des fosses (2 × 1 m), ainsi que l'amplitude relative des variations pédoclimatiques sous couvert forestier, limitent le caractère aléatoire des résultats obtenus. On signalera cependant que ceux-ci n'ont qu'une valeur relative, tout particulièrement en ce qui concerne les insectes sociaux (Termites, Fourmis) et que la date de l'échantillonnage, en novembre, c'est-à-dire après une période de faible déficit hydrique, doit être prise en considération.

On examinera les différents groupes représentés dans le sol. Pour chacun de ces groupes (Tab. IV), l'occupation de l'espace-sol en fonction de la profondeur est représentée graphiquement par le nombre d'individus contenus dans 75 cm<sup>3</sup> de la litière et de chacune des couches de 10 cm d'épaisseur puis de 20 cm ; on y a ajouté les résultats des captures (Fig. 5).

La méthode d'échantillonnage utilisée pour le prélèvement de la faune du sol ne permet pas d'extrapoler les valeurs obtenues au m<sup>2</sup>, mais nous avons calculé les valeurs relatives par groupes et pour l'ensemble des individus par tranches de sol (Tab. IV).

1° Les Microarthropodes sont de beaucoup les animaux les plus représentés comme dans la plupart des sols. Il s'agit particulièrement des Acariens et des Collemboles (73,1 % de l'ensemble de la faune).

TAB. IV

Données quantitatives sur les principaux groupes de la méso- et microfaune  
dans la litière et les couches successives du sol

	ARACHNIDA				INSECTA										MYRIAPODA			CRUSTA- CEA		Total		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19		20	
LITIÈRE	327 41.7 71.7	11 1.4 9.7	9 1.1 100	—	82 10.4 69.5	9 1.1 42.9	3 0.4 25	1 0.1 66.7	3 0.3 60	1 0.1 25	2 0.3 66.7	3 0.4 100	22 2.8 46.8		4 0.5 57.1	5 0.6 16.6	6 0.8 75	3 0.4 100	6 0.8 100	—	49.7 63.3 —	
0																						
A0/A1	94 12	1 0.1	—	1 0.1	12 1.5	12 1.5	7 0.9	5 0.6	1 0.3	2 0.3	1 0.1	—	5 0.6	(2) 0.8	1 0.1	6 0.8	1(1) 0.3	—	—	(7) 0.9	150 (9) 20.3	
A3	20.6	8.3	—	100	10.2	57.1	58.3	83.3	20	50	33.3	—	10.6	8	14.3	20	25	—	—	78.8	—	
10																						
AB	12 1.5 2.6	—	—	—	3 0.4 2.5	—	1 0.1 8.3	—	1 0.1 20	1 0.1 25	—	—	4 0.5 8.5	(17) 2.2 68	2 0.3 28.6	9 1.1 3.0	—	—	—	(1) 0.1 11.1	33 (18) 6.5 —	
20																						
30	12 1.5 2.6	—	—	—	8 1.0 6.8	—	—	—	—	—	—	—	2 0.3 4.6	—	—	4 0.5 13.3	—	—	—	—	2.6 3.3 —	
B1	4 0.5 0.9	—	—	—	4 0.5 3.4	—	1 0.1 8.3	—	—	—	—	—	9 1.1 19.1	—	—	5 0.6 16.7	—	—	—	(1) 0.1 11.1	23 (1) 3.1 —	
40																						
60	3 0.4 0.7	—	—	—	1 0.1 0.8	—	—	—	—	—	—	—	5 0.6 10.6	—	—	1 0.1 3.3	—	—	—	—	10 1.3 —	



Les Acariens sont ici très nombreux dans la litière (71,7 % de leur effectif) et dans les 10 cm superficiels (20,6 %). Plus en profondeur la densité de leur population diminue progressivement. Ils disparaissent presque totalement au-delà de 80 cm (0,4 %).

Les Collemboles sont nettement moins nombreux que les Acariens dont ils ne représentent que 25 % de l'effectif dans l'ensemble du profil où ils sont pourtant mieux répartis. En proportion par rapport à leurs effectifs, il y a autant de Collemboles que d'Acariens dans la litière.

Dans la même localité, OLIVEIRA (1983) a récolté 18 espèces de Collemboles de la litière réparties en 11 genres ; 5 y sont abondantes et 8 rares.

2° Les Myriapodes (Pauropodes, Symphyles et Diplopodes) sont également relativement bien représentés (5,8 % de la faune totale), essentiellement dans la litière (33 %) et dans les horizons A0/A1, A3 et AB jusqu'à 40 cm de profondeur (64,4 %). Seuls les Pauropodes sont présents en-dessous de 40 cm, en quantité infime (2,2 %).

3° Les Protoures et les Diploures, presque aussi nombreux que les Myriapodes (4,2 % de la faune totale) se situent dans la litière (36,4 % de leurs effectifs) et dans les horizons superficiels du sol, A0/A1-A3 (57,6 %). Au-delà, les Protoures disparaissent, les Diploures sont présents jusqu'à 40 cm (6,1 %).

4° Les Coléoptères, les Diptères et leurs larves constituent (avec 0,1, 0,3 et 0,1 % de la faune totale) des populations représentées dans la litière et dans les horizons A0/A1 et A3 du sol. Seules les larves de Coléoptères et de Diptères se trouvent dans l'horizon AB.

5° Les Fourmis semblent jouer un rôle très important dans les sols de la forêt amazonienne. Les fourmilières d'*Atta* sp. sont observées dans la région mais non à proximité immédiate des fosses, atteignant des volumes de plusieurs dizaines de m<sup>3</sup>. A l'endroit de la fosse, des effectifs particulièrement nombreux (6,0 % de la faune totale) de plusieurs espèces de petite taille ont été échantillonnés dans la litière (46,8 % de leur effectif) et dans les horizons A0/A1 et A3 (19,1 %), mais on trouve aussi un maximum d'occupation dans l'horizon B1, entre 30 et 40 cm (19,1 %).

6° Les Termites ont été certainement sous-estimées par la méthode d'échantillonnage utilisée. A l'emplacement étudié, les Termites sont très peu nombreux (3,2 % de la faune totale) : quelques exemplaires de *Syntermes* sp. dans la couche 0-10 cm (8 %), 68 % de la population entre 0 et 20 cm, absents de 20 cm à 1 mètre de profondeur et à nouveau bien représentés dans les horizons B21 et B22, particulièrement entre 100 et 140 cm (24 % de l'effectif), par une très petite espèce non identifiée.

7° Les Vers constituent un élément essentiel de la faune de ces sols. Leurs dimensions (diamètre généralement de quelques millimètres mais pouvant dépasser le centimètre ; longueur allant de quelques centimètres à plus d'un mètre) sont telles que bien que leurs effectifs soient limités à une dizaine d'individus par m<sup>2</sup> (1,1 % de la faune totale), leur biomasse pourrait être supérieure à celle de tous les autres groupes d'animaux du sol. La distribution verticale varie au cours du cycle annuel puisque les différentes espèces de Vers se déplacent dans certaines limites du profil pédologique en fonction des variations d'humidité, des caractéristiques de chaque horizon et des aptitudes propres à chacune des espèces.

8° Les autres groupes sont représentés par de faibles effectifs par rapport au peuplement total : Araignées 1,5 %, Pseudoscorpions 1,1 %, Palpigrades 0,1 %, Homoptères 0,4 %, Hémiptères 0,4 %, Isopodes 0,4 % et Copépodes 0,8 %. Ils sont presque exclusivement liés à la litière (89,5 % de leurs effectifs) et ne dépassent pas 10 cm de profondeur.

Considérant maintenant l'ensemble du profil pédologique, on est conduit à faire les remarques suivantes :

La faune de la litière est particulièrement riche en individus (63,3 % de l'effectif total) et diversifiée (17 groupes sur un total de 20). Seuls les Palpigrades, Termites et Vers de terre n'y ont pas été rencontrés.

Si le nombre de groupes (16) diminue peu dans les dix premiers centimètres et bien qu'il y ait quelques modifications (disparition des Pseudoscorpions, Hémiptères et Crustacés et apparition des Palpigrades, Termites et Vers de terre), le nombre d'individus chute de plus des 2/3 (20,3 % de l'effectif total).

Les Araignées, Palpigrades, Protoures, Coléoptères adultes, Homoptères et Diplopodes présents dans les horizons supérieurs, A0/A1-A3 (de 0 à 10 cm), ne dépassent pas les 10 cm de profondeur ; les Diploures, les Symphyles, les

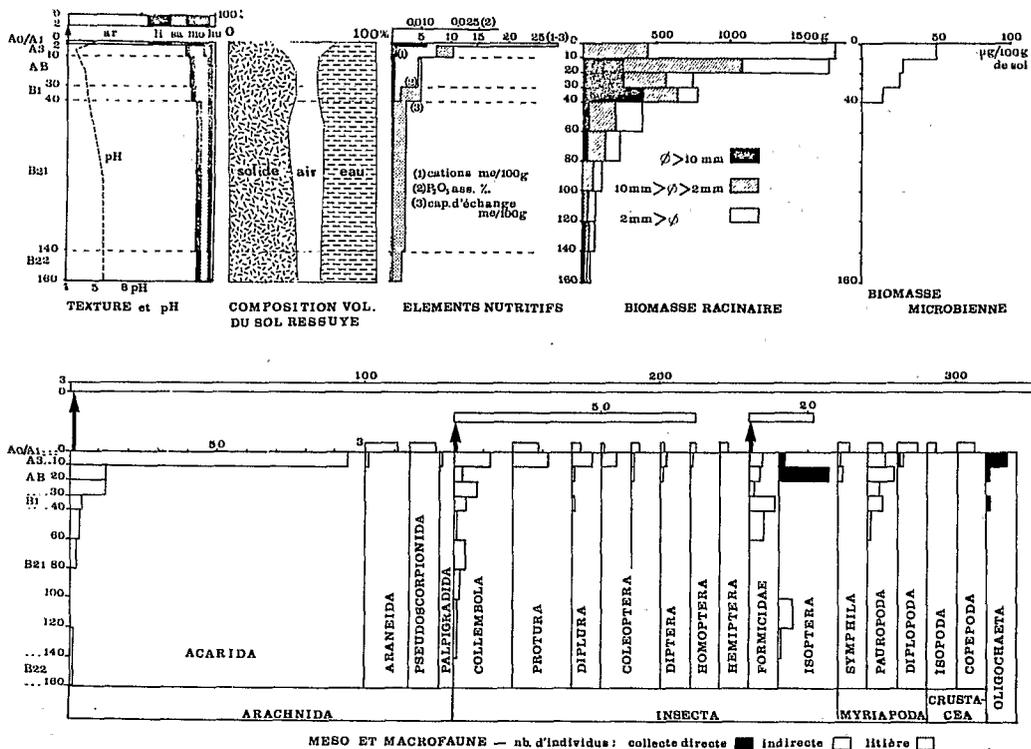


FIG. 5. — Variation verticale des caractéristiques analytiques du sol, des biomasses racinaires et microbienne et du nombre d'individus d'animaux du sol (mésifaune et macrofaune).

larves de Coléoptères et de Diptères s'enfoncent jusqu'à 20 cm. Il n'y a donc plus que 10 groupes dans l'horizon AB, entre 10 et 30 cm, et 9,8 % du total des individus.

Les dix centimètres de B1 (30-40 cm) n'hébergent que 6 groupes d'animaux (Acariens, Collemboles, Diploures, Fourmis, Pauropodes et Vers de terre) et 3,1 % de l'effectif total.

Les Diploures disparaissent de l'horizon B21 (de 40 à 140 cm), alors que les Termites s'y retrouvent en profondeur. Ses 100 cm d'épaisseur ne recèlent que 3,5 % de la faune totale avec, de 20 en 20 cm, une diminution rapide : 1,3 - 0,8 - 0,3 - 0,8 - 0,4 %, la légère augmentation de 100 à 140 cm de profondeur étant due aux Termites.

Au-delà de 140 cm, dans l'horizon B22, le peuplement animal est infime, seulement représenté par quelques Acariens avec 0,1 % de la faune totale.

#### E) La microstructure du sol en relation avec l'activité biologique.

Pour mettre en évidence l'action des racines et de la faune sur la microstructure du sol, des lames minces représentatives des principaux horizons du profil étudié ont été observées à la loupe (grossissement 10) et dessinées à même échelle (Fig. 6 et 7).

Dans l'ensemble de ce profil, les grains de quartz, peu abondants (volume inférieur à 5 % du total) et généralement non jointifs ne jouent pas le rôle de charpente. Dans ces conditions, la porosité se compose principalement :

1° Des micropores contenus au sein de l'assemblage plasmique (non visibles au microscope optique). L'observation au microscope électronique à balayage (CHAUVEL, 1981) montre qu'il s'agit de cryptovides de diamètre égal ou inférieur à 0,1  $\mu\text{m}$ , dans lesquels l'eau est retenue avec une forte énergie, ce qui la rend indisponible pour les plantes et s'oppose à la pénétration de l'air dans les conditions normales d'évolution de ces sols ( $pF < 4,2$ ).

2° Des mésopores ( $30 \mu\text{m} < \Phi < 100 \mu\text{m}$ ) et des macropores ( $\Phi > 100 \mu\text{m}$ ) dont on peut suivre l'évolution, sur les figures 6 et 7, en allant de la profondeur (horizon B22 1,5 m) vers la surface (horizon A0/A1).

— Dans l'horizon B22 (en dessous de 1,4 mètres), la porosité est essentiellement constituée par de très fines fissures qui délimitent incomplètement des microagrégats de dimensions millimétriques. La conformité des parois de ces fissures indique qu'elles résultent des seules actions de retrait et de gonflement dues aux variations d'humidité et à l'évolution du matériau argileux. La largeur de ces fissures (de l'ordre de 30  $\mu\text{m}$ ) et leurs interconnexions permettent la circulation lente de l'eau (sous de faibles succions) et de l'air.

— Dès la base de l'horizon B21, et surtout entre 130 et 90 cm de profondeur, on observe que certaines fissures deviennent plus larges ( $> 100 \mu\text{m}$ ) tandis que leurs parois, moins ajustées, sont localement élargies. À côté de ces fissures se développent progressivement des chambres et des galeries treillisées, de plus en plus abondantes et nettement délimitées, attribuées aux Termites. Le réseau de macropores ainsi formé assure la circulation rapide de l'eau libre et de l'air.

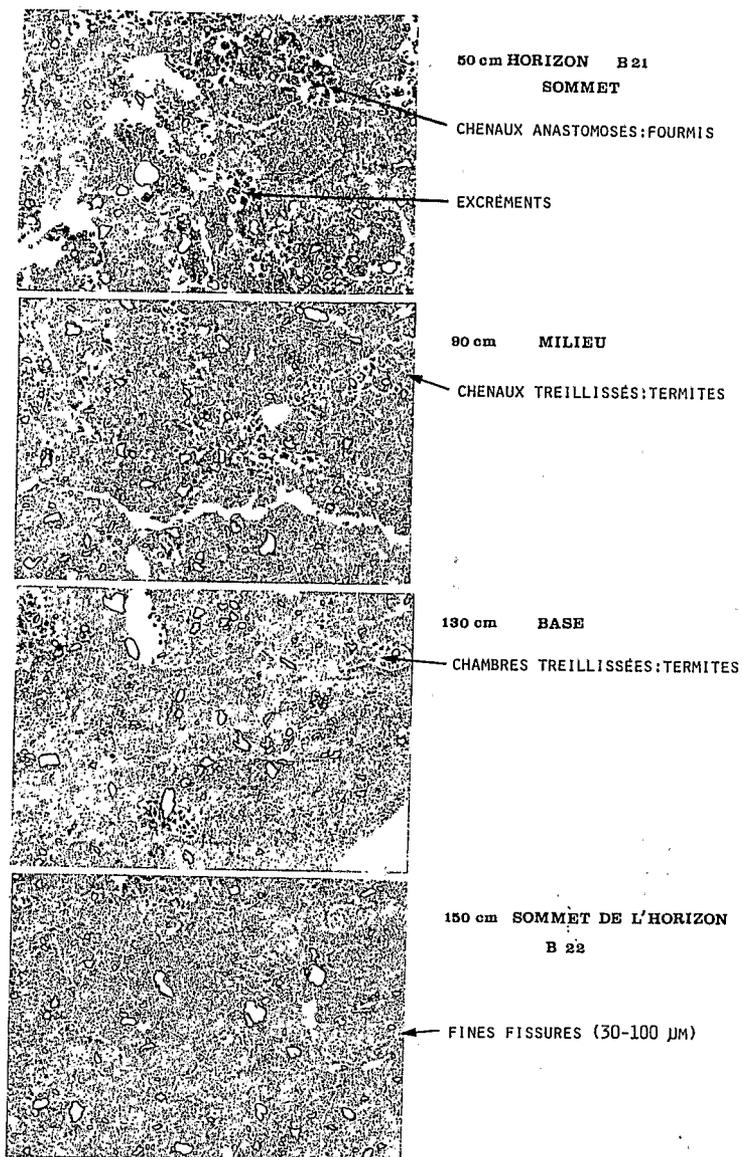


FIG. 6. — Microstructure du latosol : partie inférieure du profil. (Dessins réalisés par M. DOAZE VANDAMME).

— Dans la partie supérieure de l'horizon B21, à partir de 90 cm de profondeur, apparaissent, puis se développent, des volumes grossièrement cylindriques, légèrement plus sombres et plus bruns que le fond matriciel, dont les diamètres sont compris entre 2 et 5 mm. Ces volumes, caractérisés par l'absence de grains de squelette grossier et délimités par une enveloppe poreuse, se présentent comme des pédotubules (BREWER, 1964) ; il s'agirait de remplissages de galeries de Vers de terre par des rejets et par de la terre humifère. De nombreux chenaux anastomosés reliant des chambres localement remplies d'excréments sont attribués aux Fourmis. Au sommet de l'horizon B21, la macroporosité atteint un maximum (près de 24 % du volume total) tandis qu'une grande partie du matériau pédologique est affectée par la faunapédurbation (JONGERIUS, 1970).

— C'est seulement à partir de l'horizon B1 (de 40 à 30 cm de profondeur) que la quasi-totalité du matériau est affectée par un véritable « labour biologique » (selon les commentaires faits oralement par BACHELIER). Il en résulte une homogénéisation des constituants en même temps qu'une diminution de la taille moyenne et du volume total des vides. De nombreuses boulettes fécales ( $\Phi$  100  $\mu$ m) et des tubes racinaires sont visibles à ce niveau.

— Les horizons AB et A0/A1 (de 30 cm à la surface) présentent de nombreuses traces de racines et sont marqués par d'innombrables indices d'activité de la faune (nids et galeries, divers types de rejets, accumulation de fragments végétaux et de matières organiques plus ou moins divisés et mélangés à l'argile). La macroporosité augmente fortement jusqu'à occuper 30 à 40 % du volume des horizons A0/A1. Les couches les plus superficielles sont comme « soulevées » par l'activité biologique et séparées des niveaux sous-jacents par de très larges fissures subhorizontales, partiellement occupées par des fragments végétaux et des bioagrégats. Cette organisation, jouant le rôle d'un mulch naturel, contribue à protéger le sol contre les variations de température et d'humidité et à y maintenir, durant une grande partie de l'année, des conditions pédoclimatiques relativement stables.

Une évaluation de la composition volumique des différents horizons (Fig. 5), basée sur des mesures de densité apparente, de densité réelle et d'humidité dans le sol ressuyé (24 heures après une forte pluie) corrobore globalement ces données d'observation : le volume occupé par l'air dans ce profil présente la forme d'une amphore à pied étroit, dont le col correspond aux horizons AB et B1, mais qui s'évase largement vers la surface (horizons A0/A1 et A3). Cette distribution est comparable à celle observée par HUMBEL (1976) en région forestière de climat sub-équatorial au Centre-Sud du Cameroun.

Ces observations microscopiques, complétant ainsi les mesures physiques, renseignent sur les conditions de vie dans ces sols, en relation avec la disponibilité de l'eau et de l'air qui, selon MALDAGUE (1970) *in* VANNIER (1973) déterminent l'activité biologique : « la vie est un conflit perpétuel entre le besoin d'oxygène et le besoin d'eau, car les conditions qui déterminent l'entrée d'oxygène dans l'organisme sont également celles qui favorisent la perte d'eau ».

La texture très argileuse de l'ensemble du profil explique la très forte rétention d'une grande quantité d'eau « non disponible » dans ces sols (humidité à pF 4,2 de l'ordre de 30 à 35 % du poids de terre). La quantité d'eau

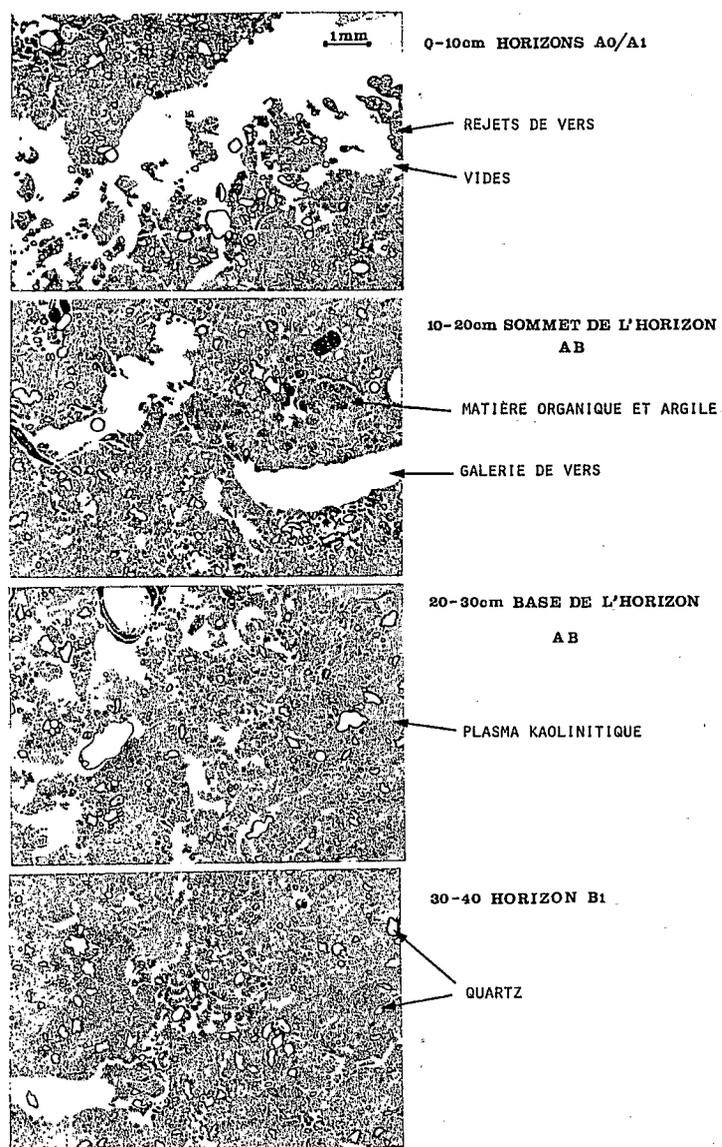


FIG. 7. — Microstructure du latosol : distribution des organisations d'origine biologique. Partie supérieure du sol. (Dessins réalisés par M. DOAZE VANDAMME).

utilisable dans le sol humide et drainé n'excède pas, pour sa part, 6 à 7 % du poids de terre. Il en résulte que, dès que le bilan hydrique devient déficitaire (à partir de juillet, août), les réserves en eau faiblement retenue s'épuisent progressivement de haut en bas du profil (RANZANI, 1980), tandis que le sol conserve près de 30 % d'humidité (au voisinage du « point de flétrissement ») et que l'atmosphère du sol reste presque saturée en vapeur d'eau (humidité relative de l'ordre de 99 %).

Les très fines fissures de l'horizon B22 (en dessous de 1,4 m de profondeur) retiennent de l'eau sous de faibles suctions, mais se prêtent mal à la circulation de l'air et à la pénétration de la faune. Dès la base de l'horizon B21 (de 140 à 100 cm), ces fissures sont progressivement élargies par une faune pionnière (très petite espèce de Termites) reconnaissable à ses chambres et à ses galeries. Ces dernières serviraient de voies de pénétration aux Collemboles (de 140 à 60 cm). Plus haut (de 60 à 40 cm), l'activité des Fourmis, s'ajoutant à celle des Vers de terre, homogénéise une partie de plus en plus grande du volume du sol. L'horizon B1 (de 40 à 30 cm) se présente en quelque sorte comme une « semelle de labour biologique », entièrement malaxée par la faune, localement compactée et pénétrée par de nombreuses racines de toutes tailles. Vers la surface, enfin, la macroporosité devient de plus en plus grande, tandis que la quantité de matière végétale, plus ou moins divisée et mélangée à l'argile, s'accroît.

L'évolution de la microstructure (et en particulier de la porosité) doit être considérée, non seulement dans l'espace, mais aussi dans le temps, au cours des saisons et de l'histoire du sol. Les interactions entre organismes apparaissent évidentes : c'est ainsi que la plus grande partie de la macroporosité est progressivement construite par l'activité biologique : les animaux fouisseurs et les racines perforant le sol et permettant à la faune non fouisseuse d'y pénétrer. L'état actuel résulte en fait de l'évolution du sol sous forêt, durant une période très longue, au cours de laquelle l'action exercée par la flore et la faune s'est développée progressivement. Par ailleurs, CHAUVEL (1982) montre que la destruction de la forêt et la mise en culture de ces sols perturbent très fortement leur bioporosité et par là même les conditions de vie.

### III. — DISCUSSION

Comme beaucoup d'autres écosystèmes des régions forestières humides intertropicales, celui de la zone étudiée est caractérisé par sa grande pauvreté en éléments minéraux : phosphore, calcium, magnésium, potassium (CHAUVEL, 1982). Aux effets d'un lessivage intense et prolongé par les eaux de drainage s'ajoute ici la pauvreté même du matériau originel des sols.

Au cours de son évolution, cet écosystème a accumulé des stocks importants de matière organique qui se répartissent entre la biomasse aérienne (406 t/ha) et celle du sol (67 t/ha : KLINGE, 1976) comprenant les parties végétales souterraines, et près de 250 t/ha de matière organique du sol. La plus grande partie des nutriments minéraux disponibles est, soit incluse dans cette biomasse végétale, soit retenue par le complexe absorbant organique.

La vitesse de recyclage des éléments minéraux dans l'écosystème constitue, dans ces conditions, le facteur limitant de sa productivité. Il est normal que

ce recyclage s'effectue principalement à proximité de la surface du sol qui reçoit tout ce qui tombe de la forêt.

1° Au-dessus de cette surface, le *faible développement de la litière* (3 cm), comparé à l'importance des chutes de débris végétaux, évoque déjà la rapidité de sa décomposition. La vitesse de décomposition de la litière varie selon les saisons : 37 jours suffisent en saison pluvieuse pour réduire de moitié la quantité initiale, alors qu'il en faut 216 en « saison sèche » (LUIZÃO, 1982). La présence à ce niveau de très nombreuses racines fines, associées à des mycorhizes ectotrophes (qui pénètrent également la litière accumulée à la base des palmiers acaules, les écorces des troncs vivants, les nids d'insectes et toutes formes d'accumulation de matières organiques) témoigne d'une intense assimilation, directe et indirecte, des éléments nutritifs libérés. L'abondance de ces éléments nutritifs s'explique par le fait que la plupart des débris végétaux sont attaqués par la faune et en voie de décomposition rapide par les micro-organismes. A ce propos, les travaux de MÉDINA (cités par LUIZÃO, 1982) montrent que la présence des seules mycorhizes augmente de moitié la vitesse de destruction de la litière.

La litière est particulièrement riche en individus (63,3 % du total) et groupes d'animaux (17 sur 20). Seuls les Palpigrades, Vers de terre et Termites n'y ont pas été rencontrés. Cependant, nous savons que parmi ceux-ci les espèces de *Syntermes* ont une grande importance dans la dégradation de la litière (LUIZÃO, 1982 ; SCHUBART *et al.*, 1984). LUIZÃO a observé que, pendant la saison la plus pluvieuse, 40 % de la litière, fraîche pouvait être consommée par ces insectes qui coupent les feuilles en petits disques de 3 à 4 mm de diamètre pour les transporter dans leurs galeries souterraines. Il est donc vraisemblable qu'au moment de notre étude, à la suite de quelques jours sans pluie, ces *Syntermes* avaient migré dans les horizons superficiels du sol (A0/A1, A3 de 0 à 10 cm).

La litière est aussi le foyer d'une vie végétale intense. L'accroissement des racines, toutes d'un diamètre inférieure à 2 mm, y a été estimé à 37,7 g (poids sec)/m<sup>2</sup>/an (DOS REIS, 1985), valeur très comparable à celle obtenue par JORDAN et ESCALANTE (1980) dans une forêt de même type au Venezuela (35 g ± 3/m<sup>2</sup>/an).

Cette activité biologique générale dont la litière est le siège varie au cours de l'année. LUIZÃO (1982) constate ainsi une dégradation plus importante durant les mois les plus pluvieux, accélérée par l'intensité du lessivage.

2° Mis à part la litière, les principales caractéristiques des horizons sont récapitulées dans le tableau V. *Les horizons humifères A* se subdivisent en une partie superficielle (A0/A1) de deux centimètres d'épaisseur, constituée par un mélange de débris végétaux en voie de décomposition et d'agrégats argileux brun sombre, et par une partie plus profonde A3, de 2 à 10 cm, de couleur brune, argilo-humique. Les teneurs en matière organique présentes à ces niveaux sont très élevées, respectivement 13,9 et 5 % du poids total, soit 9 et 20 % de la matière organique totale contenue dans le profil. Il s'agit d'une matière en cours d'évolution (Fig. 2), de plus en plus divisée puis mélangée à l'argile et aux microorganismes par l'action de la faune. Ces dix premiers centimètres sont les plus riches en organismes de toute nature. Acariens, Collemboles, Diploures, larves de Diptères et Vers de terre y atteignent leurs

densités maximales. Diplopodes, Protoures, Coléoptères adultes y sont localisés. Ce sont au total 55,2 % des individus présents dans le sol (litière exceptée) qui s'y rencontrent. La biomasse microbienne s'y élève à 44,2 % du total. Les racines fines absorbantes atteignent ici leur longueur et leur surface maximales (49,8 %) et y constituent un réseau à mailles serrées avec près de 10 m de racines de moins de 1 mm de diamètre par  $\text{dm}^2$ . Leur efficacité est encore augmentée par l'abondance des mycorhizes ectotrophes (ST JOHN, 1980). Cette activité biologique intense s'explique, d'une part par l'abondance relative des éléments minéraux : somme des cations échangeables (85,1 % du total) et  $\text{P}_2\text{O}_5$  assimilable (79,6 % du total) ; d'autre part une pénétration facile des organismes, de l'air et de l'eau grâce à une très forte porosité (Fig. 5). La concentration des nutriments provient sans doute à la fois des eaux de pluies enrichies par leur contact avec la cime des arbres (22 kg/ha/an de potasse selon SCHUBART *et al.*, 1984) et de la décomposition de la matière végétale (de l'ordre de 2,2 kg/ha/an de phosphore, 12,7 de potasse, 5 de sodium, 18,4 de calcium, 12,6 de magnésium et 105,6 d'azote selon SCHUBART *et al.*, 1984). La porosité large, permettant la circulation de l'air et de l'eau, est créée et entretenue par l'activité biologique : Vers de terre, Fourmis, Acariens et Collembolles eux-mêmes qui aménagent et entretiennent les vides existants.

Il y aurait lieu d'individualiser l'horizon A0/A1, ici d'une épaisseur de 2 cm, mais variable selon les endroits où se trouve accumulé l'essentiel des éléments minéraux assimilables et de la matière organique, donc un milieu riche, bien aéré et humide qui favorise au maximum la vie animale. Rappelons qu'au Zaïre dans des conditions comparables à celles de Manaus, « ... 80 à 85 % des constituants de la mésofaune sont confinés dans un horizon n'excédant pas 2,5 cm » (MEYER et MALDAGUE, 1957).

Au total, l'ensemble constitué par la litière et par les horizons humifères A0, A1, A3 de 0 à 10 cm avec son contenu de racines absorbantes, de microorganismes, d'animaux constituant la méso- et la macrofaune et de matière organique en cours d'évolution, se présente comme un filtre capable de retenir à la disposition des plantes la plus grande partie des éléments minéraux reçus par la surface du sol. JORDAN et STARK (1978) ont prouvé l'efficacité de ce filtre en expérimentant sur des latosols d'Amazonie vénézuélienne, à l'aide d'éléments marqués. Moins de 0,1 % du  $^{45}\text{Ca}$  et du  $^{32}\text{P}$  appliqués au sol en solution traversent ces horizons superficiels et pénètrent plus en profondeur avec les eaux de drainage.

3° Au-delà de 10 cm de profondeur, dans les horizons AB, de 10 à 30 cm, et B<sub>1</sub> de 30 à 40 cm, la capacité de rétention des éléments minéraux diminue tandis que les teneurs en phosphore assimilable tendent vers zéro (14,8 et 5,5 % du total), alors que les quantités de matière organique s'abaissent de façon graduelle et que la composition même de l'humus se modifie comme le montre la réduction des fractions 5, 6, 7 et 8 sur la figure 2. On constate par ailleurs que la biomasse microbienne passe de 25  $\mu\text{g}/100\text{ g}$  en AB à 12,7  $\mu\text{g}/100\text{ g}$  en B<sub>1</sub>, soit de 44,6 à 11,2 % de la biomasse totale, et s'annule presque au-delà de 40 cm. La longueur et la surface des racines diminuent dans des proportions de 10 à 1. Les effectifs et la diversité de la faune se réduisent : il n'y a plus de Symphyles, de Diplopodes, de Protoures, de Diploures, de Coléoptères ni de larves de Diptères. Cette forte variation verticale de l'activité biologique semble être

TAB. V

Principales caractéristiques abiotiques et biotiques des horizons du profil étudié exprimées en % du total

Horizons	Limites	Épaisseurs en cm	Somme des cations	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> assimilable	Fract. humifiée évolutive (5-6-7-8- (fig. 2))	Bio-masse racinaire	S. Racines < 1 mm	Bio-masse microbienne	Faune effectifs	
A <sub>0</sub> /A <sub>1</sub> -A <sub>2</sub> .....	0-10	10	85,1	79,6	43	29	49,8	44,2	55,2	
AB.....	10-30	20	4,9	18,8	29	40,8	31,4	44,6	26,7	
B1.....	30-40	10	3,9	5,5	10	13,2	4,0	11,2	8,3	
			93,9	100	82	83,0	85,2	100	90,2	S
B21.....	40-140	100	3,0	—	15	16,0	13,9	—	9,4	
B22.....	140-160	20	3,0	—	3	0,9	0,9	—	0,3	
			100	100	100	100	100	100	100	

S : Somme des premiers quarante centimètres.

liée à la réduction des ressources en éléments nutritifs et surtout à la limitation progressive de la macroporosité et donc de l'aération du sol (Fig. 5).

Les premiers quarante centimètres du sol recèlent ainsi non seulement les plus fortes concentrations d'éléments minéraux (93,9 %), l'intégralité du phosphore assimilable, mais aussi 83,0 % des racines, 90,2 % des effectifs de la méso- et macrofaune et la totalité des microorganismes ; 82 % du total des fractions humifiées évolutives (Fig. 2, Fract. 5, 6, 7 et 8) y sont concentrés (Tab. V).

4° Au-delà de 40 cm de profondeur, les horizons B21 et B22 contiennent très peu d'éléments minéraux et la vie s'y raréfie : la somme des cations échangeables y est presque nulle (6 %) et le phosphore assimilable n'est plus mesurable, la matière organique est principalement constituée par une humine biologiquement inerte, les racines fines d'un diamètre inférieur à 1 mm restent présentes jusqu'à 1,6 m, c'est-à-dire jusqu'au fond de la fosse II, de même que certains groupes animaux, tels les Collembolés, les Fourmis, les Termites et à certaines époques, les Vers de terre, mais avec des effectifs très réduits. Cette distribution en profondeur des racines et de la faune doit être considérée en fonction du régime hydrique de ces sols. RANZANI (1980) montre que dans ce type de sol les réserves en eau faiblement retenue s'épuisent progressivement de haut en bas à partir d'août et jusqu'à décembre. Au-delà d'une certaine profondeur, plus ou moins 250 cm, il reste toujours de l'eau disponible. Sitôt après le début de la « saison sèche », irrégulièrement marquée à partir du 15 juillet, les réserves en eau utile des premiers 40 cm s'épuisent, ce qui correspond à une hauteur de précipitations de l'ordre de 25 mm. Il est

vraisemblable que ce sont alors les racines situées en profondeur qui se chargent d'alimenter les plantes en eau, tandis que les groupes animaux les plus exigeants en humidité, Vers, Termites, etc., s'enfoncent en profondeur et accumulent dans leurs chambres et galeries la matière organique en y rejetant leurs excréments. La porosité ainsi réalisée contribue au drainage vertical en saison des pluies et constitue, par la suite, des voies de pénétration préférentielle pour de nouvelles racines : on a constaté, avec ST JOHN et MACHADO (1978), que ces racines profondes se garnissent de mycorhizes au contact des concentrations de matière organique contenue dans les rejets.

#### IV. — CONCLUSIONS

Compte tenu de ce qui est connu, il devient possible de faire ressortir les quelques points suivants :

1° La quantité, la nature, la distribution et l'activité des racines et des êtres vivants assurant le recyclage des faibles réserves en éléments nutritifs présents dans l'écosystème considéré (LUIZÃO, 1982) expliquent l'existence d'une « forêt dense sur des sols pauvres » (SCHUBART *et al.*, 1984). Dans ce milieu fortement carencé, plus qu'ailleurs, il apparaît, comme l'écrit BACHELIER (1978) que « plus un milieu a un peuplement diversifié, meilleur est son rendement dans l'exploitation de l'apport énergétique, meilleur est l'ensemble de son « turnover », et plus grande est sa productivité ».

2° La dynamique de l'écosystème résulte d'une évolution longue et continue, marquée par une augmentation progressive des réserves organiques et minérales en même temps que par la diversification des peuplements floristiques et faunistiques qui tendent vers un état d'équilibre biodynamique. Ceci rejoint l'affirmation de FRANZ (1953) : « plus les conditions de milieu d'une station ont évolué avec continuité...plus la communauté sera riche en espèces, plus elle sera équilibrée et stable ».

3° Cet équilibre peut être rompu par une modification (naturelle ou provoquée par l'homme) des facteurs abiotiques et biotiques du milieu. Ainsi, le seul passage de véhicules lourds dans la forêt, pour le transport de grumes, provoque, par tassement, la destruction de la plus grande partie de la macroporosité d'origine biologique et laisse une « cicatrice » durable. A plus forte raison, on constate (CHAUVEL, 1982) que l'utilisation de moyens mécaniques lourds et inadaptés pour le défrichage et la mise en culture de ces sols, affecte très fortement la macroporosité d'origine biologique sur près de 40 cm de profondeur. Il en résulte une forte limitation de l'infiltration de l'eau de pluie et de l'aération du sol, ainsi, selon C. CERRI (comm. pers.), qu'une forte réduction de l'activité biologique. Les traces de telles cicatrices deviennent visibles sur les images de satellite.

4° La présente étude fournit des données de référence sur l'enracinement des plantes et la répartition verticale des êtres vivants dans un sol d'une forêt dense humide d'Amazonie centrale, présumée en équilibre. Elle doit être complétée par une recherche qui prenne en compte la variabilité spatio-temporelle au sein de l'écosystème et qui s'applique à l'étude des horizons humifères, des mycorhizes, de l'activité des racines...

L'importance des perturbations, de nature physique et biologique, provoquées par l'homme, sera évaluée par rapport à ces données de référence.

## RÉSUMÉ

L'étude porte sur un profil pédo-biologique représentatif des sols ferrallitiques de plateau, sous forêt humide amazonienne, dans la région nord de Manaus.

L'analyse détaillée du sol, du système racinaire et de la faune, met en évidence la différenciation verticale de 4 ensembles d'horizons qui sont, de haut en bas :

1° La litière, épaisse de quelques centimètres, essentiellement composée de débris végétaux en cours de décomposition rapide. On y relève la concentration d'une faune abondante, diversifiée et active, ainsi que la croissance très rapide de fines racines qui pénètrent les débris végétaux.

2° L'ensemble des horizons A0/A1 et A3 (de 0 à 10 cm de profondeur) est constitué par des agrégats bruns argilo-humiques. Sa nature lui permet de retenir la quasi-totalité des éléments nutritifs (Ca, Mg, K, Na, P...) libérés par la décomposition de la matière végétale. Sa relative richesse chimique, jointe aux conditions favorables d'aération et d'humidité, explique la forte concentration des organismes vivants (faune et biomasse microbienne) et l'importance de l'enracinement (près de la moitié de la surface totale des fines racines).

3° Les horizons AB et B1 (de 10 à 40 cm), homogénéisés en permanence par un « labour biologique », sont caractérisés par une diminution progressive de : la quantité de matière organique, la capacité de rétention et la teneur en éléments minéraux nutritifs, la macroporosité, les effectifs et la diversité de la faune, la longueur et la surface des fines racines (dans la proportion de 10 à 1). Seules les racines de plus de 10 mm de diamètre présentent un maximum de concentration entre 30 et 40 cm.

4° Les horizons B21 et B22, de 40 à 160 cm, sont caractérisés à la fois par leur extrême pauvreté en éléments nutritifs et par leur porosité fissurale très fine qui retient l'eau sous de faibles succions. La pénétration des racines de diamètre inférieur à 1 mm (15 % de leur surface totale) et des espèces animales les plus exigeantes en humidité, indique que ce niveau constitue une réserve d'eau disponible, dès que le bilan hydrique devient déficitaire (en août et septembre).

Ce premier aperçu d'un profil pédo-biologique de référence sous forêt humide amazonienne sera complété par d'autres études pour apprécier les variations qui l'affectent, dans le temps et dans l'espace, en milieu naturel ou transformé par l'homme.

## SUMMARY

**Importance and distribution of roots and living organisms in a clayey « latossol » under Amazonian forest**

The study deals with a pedo-biological profile under humid Amazonian forest in the North region of Manaus, Brazil, that is representative of yellow ferralitic soils highly desaturated in B.

The detailed soil, roots and fauna analysis shows a vertical differentiation of four pedological horizons, which can be described, from top to bottom, as follows:

1° A few centimetre thick litter mainly made of fast decomposing debris. In this horizon, one can see a high concentration of active and diversified fauna, as well as the very fast growth of micro roots and of mycorrhizal fungi that penetrates the vegetal debris.

2° The horizons A0/A1 (from 0 to 2 cm) and A3 (from 2 to 10 cm) is made of brown humus clay aggregates of such composition that it retains almost all the nutrients freed by the decomposition of the vegetal matter (Ca, Mg, K, Na, P).

This chemically rich milieu, together with the favorable air and humidity conditions, account for the high concentration of living organisms (fauna and microbial biomass) as well as for the root system (almost half of the total area of micro roots).

3° The horizons AB et B1 (from 10 to 40 cm) constantly stirred by « biological ploughing » are characterized by the progressive decrease of: the amount of organic matter, the retention and concentration of mineral nutrients, the macroporosity, the amount and diversification of fauna, the length and area of micro roots (from 10 to 1). Only the roots more than 10 mm in diameter reach the maximum of concentration between 30 and 40 cm.

4° The horizons B21 and B22 (from 40 to 160 cm) are very poor in nutrients and are characterized by very tiny cracks that makes porosity such that it retains water under weak suction. The penetration of roots below 1 mm in diameter (15 % of total area) and of water-dependent animal species, indicate that this level plays the role of a water reservoir and becomes available in August and September in case of water balance deficit.

The distribution of roots and living organisms in the soil is as favorable as possible to the turn over of nutrients and, thus, to the energetic efficiency of the vegetal cover. This explains the presence of « dense forest on poor soils ». Such an equilibrium is the result of a long and continuous evolution during which the ecosystems has accumulated stocks of organic matter that may reach over 700 tons per hectare. The equilibrium of such an environment may be broken by natural or man-made modifications will be evaluated by doing comparative studies that will take as their reference point the profile described in the present publication.

#### BIBLIOGRAPHIE

- AUBERT (G.) & SEGALIN (P.), 1966. — Projet de classification numérique. *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.* : 97-112.
- BACHELIER (G.), 1978. — La faune des sols, son écologie et son action. *Init. Docum. Tech. ORSTOM*, Paris, 38: 391 p.
- BECK (L.), 1972. — Der Einfluss der jahresperiodischen Überflutungen auf den Massenwechsel der Bodenarthropoden im zentral-amazonischen Regenwaldgebiet. *Pedobiologia*, 2: 133-148.
- BETSCH (J. M.), KILBERTUS (G.), PROTH (M. C.), BETSCH-PINOT (M. M.), COÛTEAUX (G.), VANNIER (G.) & VERDIER (B.), 1980. — Effets à court terme de la déforestation à grande échelle de la forêt dense humide en Guyane Française sur la micro-faune et la microflore du sol. *Proc. VII Intern. Coll. Soil Zool. EPA 560/13-80-038*. Washington : 472-490.
- BREWER (R.), 1964. — *Fabric and mineral analysis of soils*. J. Wiley and Sons Ed., N.Y., 470 pp.
- CAMARGO (M. N.) & RODRIGUES (T. E.), 1979. — XVII Congresso brasileiro de Ciência do solo. Manaus 8-13 de julho 1979. *Guia de excursão*. SNLCS-EMBRAPA. Rio de Janeiro, 72 pp.
- CHANSOD (R.) & NICOLARDOT (B.), 1982. — Mesure de la biomasse microbienne dans les sols cultivés. I. Approche cinétique et estimation simplifiée du carbone facilement minéralisable. *Rev. Écol. Biol. Sol*, 19: 501-512.
- CHAUVEL (A.), 1981. — Contribuição para o estudo da evolução dos latossolos amarelos, distróficos argilosos, na borda do platô, na região de Manaus : mecanismos da gibbsitização. *Acta Amazonica*, 11: 227-245.

- CHAUVEL (A.), 1982. — Os latossolos amarelos alícos argilosos dentro dos ecossistemas das bacias experimentais do INPA e da região vizinha. *Acta Amazonica*, 12: 47-60.
- DABIN (B.), 1971. — Étude d'une méthode d'extraction des matières humiques du sol. *Bull. Ass. Fr. Étud. Sol*, 1: 47-63.
- DABIN (B.), 1980-81. — Les matières organiques dans les sols tropicaux normalement drainés. *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, 18: 197-215.
- DASH (M. C.), BEHERA (N.), SATPATHY (B.) & PATI (D. P.), 1985. — Comparison of two methods for microbial biomass estimation in some tropical soils. *Rev. Écol. Biol. Sol*, 22: 13-20.
- DUPUIS (T.), JAMBU (P.) & RIGHI (D.), 1975. — *Structure and origin of humins in podzols from the « Landes du Médoc », France.* in: Intern. Symp. « Humus and Planta VI ». Prague : 441-445.
- FRANZ (H.), 1953. — Davor und Wandel der Lebensgemeinschaften. *Schr. Ver. Verb. naturw. Kenntn* (Wien, Berl.), 93, Vereinsjahr : 27-45.
- GUILLAUMET (J. L.) & KAHN (F.), 1982. — Structure et dynamisme de la forêt. *Acta Amazonica*, 12: 61-78.
- HUMBEL (F. X.), 1976. — *L'espace poral des sols ferrallitiques du Cameroun.* Thèse Sc. Paris et Travaux et Documents de l'ORSTOM, n° 54.
- HUMBEL (F. X.), 1978. — Caractérisation par des mesures physiques, hydriques et d'enracinement des sols de Guyane française à dynamique superficielle. *Bull. Ass. Fr. Étud. Sol, Sc. Sol*, 2: 83-94.
- HUTTEL (C.), 1969. — Répartition verticale des racines dans une forêt dense humide sempervirente de Basse Côte-d'Ivoire. *JIW. Afr. Sci. Ass.*, 14: 65-72.
- HUTTEL (C.), 1974. — *Root distribution and biomass in three Ivory Coast rain forest plots-coll.* *Ecol. Trop.*, Caracas, GOLLEY and MEDINA Ed.: 123-130.
- JENKINSON (D. S.), 1966. — Studies on the decomposition of plant materia in soil. II. Partial sterilization of soil and the soil biomass. *Journ. Soil. Sci.*, 17: 280-302.
- JONGERIUS (A.), 1957. — Morphology investigations of soil structure. *Bodenk. Stud.*, 2.
- JONGERIUS (A.), 1970. — Some morphological aspects of regrouping phenomena in dutch soils. *Geoderma*, 4: 311-331.
- JORDAN (C. F.) & STARK (N.), 1978. — Retención de nutrientes en la esfera de raices de un bosque pluvial amazónica. *Acta Cient. Venez.*, 29: 263-267.
- JORDAN (C. F.) & ESCALANTE (G.), 1980. — Root productivity in an Amazonian Forest. *Ecology*, 6: 14-18.
- KAHN (F.), 1977. — Analyse structurale des systèmes racinaires des plantes ligneuses de la forêt tropicale dense humide. *Candollea*, 32: 321-358.
- KLINGE (H.), 1976. — Bilanzierung von Hautnährstoffen im Ökosystem tropischer Regenwald (Manaus). Vorläufige daten. *Biogeographica*, 7: 59-77.
- KOKONOVA (M. H.), 1961. — *Soil organic matter. Its nature, its role in soil formation and soil fertility.* Pergamon press. Oxford.
- LEOPOLDO (P. E.), FRANKEN (W.) & MATSUI (E.), 1982. — Estimativa de evapotranspiração de floresta amazônica de terra firme. *Acta Amazonica*, 12: 23-28.
- LUCAS (Y.), CHAUVEL (A.), BOULET (R.), RANZANI (G.) & SCATOLINI (F.), 1984. — Transição « latossolo-podzóis » sobre a formação Barreiras na região de Manaus, Amazônia, Brasil. *Rvta, Bras. Cien. Solo*, 8: 325-335.
- LUIZÃO (F. J.), 1982. — *Produção e decomposição da liteira em floresta de terra firme da Amazônia central. Aspectos químicos e biológicos de lixiviação e*

- remoção dos nutrientes da liteira. Dissertação de mestrado INPA/FUA, Manaus, 107 pp.
- MALDAGUE (M. E.), 1970. — *Rôle des animaux édaphiques dans la fertilité des sols forestiers*. I.N.E.A.C., série scientifique, n° 112, 245 pp.
- MEYER (J.) & MALDAGUE (M. E.), 1957. — Observations simultanées sur la microflore et microfaune de certains sols du Congo. *Pédologie*, 7: 110-118.
- NORTCLIFF (S.) & THORNES (I. B.), 1978. — Water and cation movements in a tropical rain forest environment. I. Objectives, experimental design and preliminary results. *Acta Amazonica*, 8: 245-258.
- OLIVEIRA (E. P.), 1983. — *Colêmbolos (Insecta. Collembola) epigêicos como indicadores ecológicos em ambientes florestais*. Dissertação de mestrado, INPA/FUA, Manaus, 103 pp.
- PRANCE (G. T.) & SCHUBART (H. O. R.), 1977. — Nota preliminar sobre a origem das campinas abertas de areia branca do baixo rio Negro. *Acta Amazonica*, 7: 567-569.
- PROJETO RADAMBRASIL, 1978. — *Levantamento de recursos naturais*. Vol. 18, folha SA. 20 Manaus. Ministério das Minas e Energias. Rio-de-Janeiro.
- RANZANI (G.), 1980. — Identificação e caracterização de alguns solos da Estação Experimental de Silvicultura Tropical do INPA. *Acta Amazonica*, 10: 7-41.
- RANZANI (G.), CANTO (A. do C.), MÜLLER (A.), VIERA (G.), VILLALOBOS (I.), ALENCAR (J. da C.), SAWASAKI (L.), TEIXERA (L. B.), NUÑES (M. N.), & SCATOLINI (F.), 1983. — *Levantamento de solos da area de exposição da SPRUR e recomendações de uso da terra*. Manaus, INPA, 48 pp.
- REIS (Dos. M. J.), 1985. — *Estudo preliminar sobre o crescimento das raízes superficiais de uma floresta de terra firme da Amazônia Central*. Dissertação de mestrado. INPA/FUA, 107 pp.
- RIBEIRO (M. de N. G.), 1976. — Aspectos climatológicos de Manaus. *Acta Amazonica*, 6: 229-234.
- RIBEIRO (M. de N. G.) & VILLA NOVA (N. A.), 1979. — Estudos climatológicos da Reserva Florestal Ducke. Manaus, Am. III. Evapotranspiração. *Acta Amazonica*, 9: 305-310.
- SCHUBART (H. O. R.), FRANKEN (W.) & LUIZÃO (F.), 1984. — Uma floresta sobre solos pobres. *Ciência Hoje*, 2: 26-32.
- ST. JOHN (T. V.), 1980. — Tamanho da raiz, pelos radiculares e infecção por micorrizas : um reexame da hipótese de Baylis com árvores tropicais. *Acta Amazonica*, 10: 141-145.
- ST. JOHN (T. V.) & MACHADO (A. D.), 1978. — Efeitos da profundidade e do sistema de manejo de um solo de terra firme (latossolo em infestações por micorrizas). *Acta Amazonica*, 8: 139-141.
- USDA. Soil Survey Staff, 1975. — Soil classification. A basic system of soil classification for making and interpreting soil survey. *Agric. Handbook* (436), 734 pp.
- VANNIER (G.), 1973. — Originalité des conditions de vie dans le sol due à la présence de l'eau : importance thermodynamique et biologique de la porosphère. *An. Soc. Roy. Zool. Belg.*, 103: 157-167.
- VILLA NOVA (N. A.), SALATI (E.) & MATUSI (E.), 1976. — Estimativa da evapotranspiração na Bacia Amazônica. *Acta Amazônica*, 6: 215-228.
- VOLKOFF (B.), MATSUI (E.) & CERRI (C. C.), 1982. — *Discriminação isotópica do carbono no húmus de latossolo e podzol da região amazônica do Brasil*. Proceedings of the Regional Colloquium in: Soil Organic Matter Studies - CENA PROMOCET PIRACICABA: 147-153.