

Premiers résultats sur la dynamique des biomasses racinaires et microbiennes dans un latosol d'Amazonie centrale (Brésil) sous forêt et sous pâturage

Flavio LUIZÃO (1), Regina LUIZÃO (1) et Armand CHAUVEL (2)

(1) Inpa- Ecologia, C.P.478, Manaus, AM, CEP 69011, Brésil.

(2) Orstom/Inpa- Laboratoire d'écologie des sols tropicaux, centre Orstom - 72, route d'Aulnay - 93143 Bondy cedex France.

RÉSUMÉ

La dynamique des racines et celle de la biomasse microbienne sont étudiées dans les horizons supérieurs d'un « latosol » sous forêt primaire et sous un pâturage voisin au cours d'une année climatique, en Amazonie centrale (Brésil).

Les mesures portent sur quatre séries de prélèvements faits entre 0 et 5 cm et 5 et 20 cm, à différentes saisons. Les racines sont séparées du sol ; ont été utilisées conjointement les méthodes de tamisage, de tri manuel, de flottation et de tri sous la loupe binoculaire. La biomasse microbienne est globalement évaluée par la méthode de fumigation-incubation.

L'étude montre que la masse des racines ainsi que la biomasse microbienne présentent des variations accrues au cours de l'année : les valeurs maximales correspondent à la saison des pluies, et les valeurs minimales à la saison sèche.

Dans le système forestier, le taux de renouvellement des racines est du même ordre de grandeur que celui de la litière; il est plus élevé sous pâturage. Les quantités de racines renouvelables annuellement sont équivalentes à la production annuelle de litière.

Les résultats font apparaître le rôle important des racines comme source de matière organique dans le « latosol ». Ils conduisent à tenir le plus grand compte de l'activité biologique des horizons très superficiels, dans l'étude du fonctionnement et de la mise en valeur de ces écosystèmes.

MOTS CLÉS : Forêt amazonienne – Pâturage – Dynamique de racines – Biomasse microbienne – Sols ferrallitiques.

ABSTRACT

PRELIMINARY RESULTS ON ROOTS AND SOIL MICROBIAL BIOMASS DYNAMICS IN OXISOL IN CENTRAL AMAZON

*The dynamics of roots and soil microbial biomass in the upper soil layers under natural forest and an adjacent young pasture were studied along one climatic year in Central Amazon. Four collections were made sampling the 0-5 cm and the 5-20 cm soil layers. The roots were separated from soil by a conjunction of methods: direct manual separation, sieving, floatation in water and microscopic counting. Soil microbial biomass-C was measured by the fumigation-incubation method (JENKINSON and POWLSON, 1976). The variation along the year followed an accentuated seasonal pattern, with higher values in the rainy season and lower ones in the dry period for both, root mass and soil microbial biomass. The relation between root mass and soil microbial biomass and between both and the seasons was clearer in the 0-5 cm soil layer, where most of the main biological activities are happening in forest and pasture soils. The addition of fertilizers in the pasture confirmed the speed of reaction of the soil microbial biomass to changes in the soil, even under unfavourable conditions, something that was not observed with roots. In the young pasture, planted with *Brachiaria humidicola*, the total amount of roots found was always lower than in the natural forest. However, the relative abundance of finer roots was more important and its amount in the 0-5 cm soil layer was equal or even higher than in the forest soil. Estimates of the renewal rate for roots finer than 1 mm in diameter, based on the differences bet-*

ween the observed highest and lowest values, indicated a root renewal sensibly faster in pasture than in the natural forest. In the forest, the estimated renewal rate for roots is placed in the same level as for the rate of the forest litter decomposition in the region. The estimated yearly amount of renewable roots in the upper 20 cm of soil profile is comparable with the annual forest litter input. It is concluded that the contribution of roots in the upper soil layers as source of organic matter and nutrients to the system is of the same importance of that represented by forest litter. The fine roots, of fast renewal and intimately related with soil microbial biomass, are especially important in the soil processes. The dynamics of a thinny and superficial soil layer is a key component of the ecosystem functioning and should always be taken in account for planning sustainable use of Amazonian soils.

KEY WORDS: Amazonian forest – Pasture – Dynamics of roots – Microbial biomass – Oxisol.

RESUMO

RESULTADOS PRELIMINARES SOBRE A DINÂMICA DAS BIOMASSAS MICRÓBIANA E DAS RAIZES EM LATOSSOLO AMARELO NA AMAZÔNIA CENTRAL

A dinâmica das raízes e da biomassa microbiana nas camadas superficiais do solo de floresta natural densa e de uma pastagem jovem adjacente foi estudada, efetuando-se quatro coletas ao longo de um ano climático. Amostras de solo, de 0-à 5 cm e de 5 à 20 cm de profundidade, foram coletadas e as raízes foram separadas pelo uso conjunto dos métodos de captação manual, peneiração e flotação, além de triagem sob lupa microscópica. A biomassa microbiana foi determinada pelo método da fumigação-incubação de JENKINSON e POWLSON (1976). Verificou-se que as variações da massa de raízes, principalmente das raízes finas, e da biomassa microbiana seguem um padrão sazonal acentuado, com valores maiores na estação chuvosa e menores na seca. A adição de fertilizante na pastagem comprovou a rapidez da reação da biomassa microbiana à mudanças no solo, mesmo sob condições não favoráveis, o que não foi observado para as raízes. A relação do crescimento de raízes com a biomassa micróbiana e destas com a estação do ano foram mais claras na camada mais superficial do solo (0-5 cm), onde se concentram as principais atividades biológicas do solo, tanto da floresta natural como da pastagem. Na pastagem de *Brachiaria humidicola*, a quantidade total de raízes encontrada foi sempre menor que na floresta natural, porém a abundância relativa das raízes mais finas foi mais importante, a tal ponto que sua quantidade na cama de 0-5 cm foi igual ou mesmo maior que a da floresta. Estimativas da taxa de renovação das raízes finas de diâmetro inferior a 1 mm, baseadas na diferença entre os valores máximo e mínimo observados, indicaram uma renovação mais rápida das raízes da pastagem do que na floresta natural. Na floresta, a taxa de renovação das raízes foi da mesma ordem de grandeza das taxas medidas na região para a liteira fina. A quantidade estimada de raízes renováveis anualmente na camada 0-20 cm do solo é comparável à quantidade de liteira produzida por ano na floresta. Conclui-se que nos sistemas estudados a contribuição das raízes das camadas superficiais do solo, principalmente das raízes finas de renovação muito rápida e intimamente relacionadas à atividade microbiana do solo, é tão importante quanto a liteira como fonte de matéria orgânica e de nutriente minerais e que, nestes sistemas, a dinâmica de uma fina camada superficial do solo é a chave para o funcionamento do ecossistema, devendo sempre ser levada em conta ao planejar o manejo racional do solo na Amazônia.

PALAVRAS CHAVE : Floresta amazônica – Pastagens – Dinâmica de raízes – Biomassa microbiana – Latossolo.

INTRODUCTION

« Uma floresta sobre solos pobres », tel est le titre d'un article de SCHUBART *et al.* (1984) paru dans une édition spéciale de « Ciência Hoje » intitulée « Amazônia 1984 ». Les auteurs y relèvent un contraste entre l'exubérance de la végétation et la pauvreté chimique du sol caractéristique de nom-

breux milieux forestiers humides (TOUTAIN, 1984). Dans un tel système, une grande partie du stock de nutriments est contenue dans la biomasse. L'efficacité du fonctionnement dépend alors de la mobilisation biologique des éléments par l'activité : (1) de la faune du sol, (2) des micro-organismes et (3) des racines, activité particulièrement intense dans les

horizons superficiels et elle-même étroitement liée aux variations des conditions hydriques du sol (LAVELLE *et al.*, 1991 a et b). Nous nous proposons d'étudier ici les variations saisonnières du développement des racines et de la biomasse microbienne, au cours d'une année climatique normale, sous forêt primaire et, par comparaison, sous un pâturage installé après déforestation.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Localisation de l'étude

La station étudiée est située dans la « Fazenda Experimental FUCADA », en bordure de la route BR 174, Manaus-Boa Vista, à 39 km au nord de Manaus (2° 33' S- 60° 02' W). Cette station est installée sur les bas plateaux qui dominent les paysages de cette région.

Conditions climatiques, bilan de l'eau et des nutriments qu'elle contient

Le climat de la station étudiée est constamment chaud (températures moyennes comprises entre 25 et 27 °C), et caractérisé par une saison humide de novembre à mai et une saison sèche comprise entre juin et octobre. Le déficit hydrique maximal se situe le plus souvent en octobre. Selon NIMER (1989), l'Amazonie, qui reçoit les plus fortes précipitations du Brésil, est aussi caractérisée par les amplitudes pluviométriques annuelles (différences entre les pluviométries mensuelles maximales et minimales) les plus élevées, de l'ordre de 300 à 400 mm en Amazonie centrale. La pluviosité annuelle de la période d'étude (1987) a été de 2 141 mm. La distribution mensuelle des précipitations durant cette période est représentée sur la figure 1 (données fournies par la FUCADA).

En ce qui concerne le bilan hydrique, l'évapotranspiration, à partir du sol sous forêt en saison sèche, est de l'ordre de 110 mm par mois. De juin à novembre les précipitations sont du même ordre de grandeur que l'évapotranspiration, le mois d'octobre 1987 étant lui-même nettement déficitaire (- 50 mm). Il en résulte des variations importantes de la disponibilité en eau dans les sols. Les très fortes dessiccations restent cependant exceptionnelles (CABRAL, 1991). La quantité d'eau drainée vers la nappe, et exportée pendant l'année climatique, est voisine de 50 % de la pluviosité. Elle serait nettement plus élevée sous végétation cultivée (supérieure à 60 % selon CABRAL, 1991).

La végétation

La forêt observée sur le site de l'étude est du type dense humide sempervirente. Elle est connue au Brésil sous le nom de « floresta de terra firme », et est caractéristique d'une grande partie du bassin amazonien. Le nombre d'arbres, palmiers et lianes d'un diamètre supérieur à 5 cm serait de 1666 / ha et l'aire basale de 48 m² / ha (GUILLAUMET et KAHN, 1982). La valeur moyenne du poids de racines, de 5 500 g / m², sur 1,4 m de profondeur (CHAUVEL *et al.*, 1987), est très voisine de celle obtenue par HUMBEL (1978) en Guyane et par HUTTEL (1974) en Côte-d'Ivoire. Près de 75 % de la surface calculée de ces racines se situe dans les 20 cm superficiels.

Le pâturage, planté en *Brachiaria humidicola* Rendle, était installé depuis 18 mois au moment de la présente étude, après déforestation manuelle, andainage des troncs avec un tracteur, brûlis, et semis de la graminée. Il a reçu jusqu'à la fin de la période considérée les fertilisations en NPK par hectare suivantes :

- février 1987, 25 kg d'urée, 100 kg de superphosphate triple et 25 kg de chlorure de potassium ;
- juin 1987, 15 kg d'urée, 50 kg de superphosphate triple et 50 kg de phosphate bicalcique .

Apport de nutriments par les eaux et les débris végétaux

L'importance des apports par les pluies a été signalée par SCHUBART *et al.* (1984). Plus récemment, BRINKMANN (1989) a quantifié ces apports (tabl. D). Des études récentes (TALBOT *et al.*, 1990) montrent qu'ils se font sous forme d'aérosols transportés sur de longues distances dans la troposphère. Les eaux d'écoulement le long des troncs et les pluiolessivats sont enrichis en éléments nutritifs par lavage de la végétation. Les travaux de STARK et JORDAN (1978) montrent que, sous forêt primaire amazonienne, le mat racinaire superficiel absorbe la quasi-totalité de ces nutriments et empêche ainsi leur entraînement en profondeur. Ceci s'accorde avec les résultats des études lysimétriques réalisées à proximité du site de l'étude (GRIMALDI et CHAUVEL, 1991), qui montrent en outre que les concentrations les plus fortes interviennent, pour divers éléments, en début de période pluvieuse.

À ces apports par les eaux s'ajoutent, sous forêt primaire, les éléments minéraux contenus dans les débris végétaux constituant la litière fine. Ces apports sont de 2 à 3 fois supérieurs à ceux des

TABLEAU I

Apport au sol d'éléments minéraux (kg.ha⁻¹ par an) dans l'écosystème forestier naturel amazonien (Région Nord de Manaus)
Mineral elements input to soil surface (kg.ha⁻¹ yearly) in the natural forest ecosystem in Amazon (North of Manaus area)

	N	P	K	Ca	Mg	Fe
Précipitations ^{1,2}	5,0	0,40	4,80	0,26	0,18	0,61
Eau d'écoulements le long des troncs ^{1,2}	15,0	0,63	0,25	5,80	2,05	0,26
Pluiolessivats ^{1,2}	25,0	0,92	17,8	10,50	6,80	0,52
Chute de litière fine ³	151,0	3,10	15,0	37,00	14,20	4,53

1 Brinkmann, 1989

2 Leopoldo et al., 1987

3 Luizao, 1989a

eaux, sauf dans le cas du potassium, où ils sont légèrement inférieurs (tabl. I). Ces apports annuels de débris végétaux représentent un poids de 8,2 t/ha/an, dont 3,9 t de carbone.

Les résultats concernant la production et la composition chimique des débris végétaux formés sous pâturage de *Brachiaria humidicola* ne sont pas encore connus.

Le sol

Le sol de plateau caractéristique du site étudié est, dans la classification brésilienne, un « Latossolo Amarelo alio, textura muito argilosa » (RADAMBRASIL, 1978). Il est classé sol ferrallitique fortement désaturé en B dans la classification française (CPCS, 1967) et « aplic acorthox » selon la « Soil Taxonomy » (USDA, Soil Survey Staff 1975). Ce sol est essentiellement constitué par de la kaolinite (80 %), du quartz (5 à 15 %) et des hydroxydes de fer et d'aluminium. Du fait de cette composition minéralogique, les variations de la capacité d'échange cationique constatées entre profils, et du haut en bas de chaque profil, sont essentiellement dépendantes des teneurs en matière organique.

Dans son état initial, sous forêt primaire, ce sol est caractérisé par :

(a) une litière d'épaisseur variable (quelques centimètres), plus développée en saison sèche et décomposée en période humide, exploitée par des champignons, des invertébrés et des racines d'arbres ;

(b) un ensemble d'horizons humifères A1 et A3, entre 0 et 20 cm de profondeur, brun (10 YR 5 à 7/3 À 6), très argileux, dans lequel sont concentrées les plus grandes parties de la mésofaune, des racines, de la biomasse microbienne et des nutriments (CHAUVEL *et al.*, 1987) ; dans la couche 0-10 cm,

les teneurs en carbone organique sont de l'ordre de 2,5 à 3 % ;

(c) un ensemble d'horizons B ferrallitiques, d'environ 0,2 à 7 m de profondeur, jaunes (10 YR 6 à 7/5 À 7), très argileux, pratiquement dépourvus de nutriments, contenant peu de racines ;

(d) des horizons d'accumulation d'hématite ou de gibbsite sous forme de nodules dans un matériau meuble kaolinitique, localisés entre 7 et 16 m de profondeur (LUCAS, 1989). L'absence quasi complète de minéraux primaires dans ce sol, jusqu'au niveau d'une nappe, située à plus de 30 m et ne contenant pratiquement que de la silice en solution (GRIMALDI et CHAUVEL, 1991), s'oppose à tout enrichissement en nutriments à partir de la profondeur. On constate donc que tous les apports de nutriments se font essentiellement par la surface.

La texture très argileuse (kaolinite) de ces sols et la distribution dimensionnelle des pores qui en résulte (CHAUVEL *et al.*, 1991) expliquent leur faible capacité de rétention pour l'eau utilisable par les plantes (la différence entre les humidités à pF 4 et pF 2 est de l'ordre de 6 % du poids de terre).

La déforestation et l'installation de pâturages provoquent une dégradation de la structure des horizons de surface. Il en résulte d'une part une diminution de la porosité et de la capacité de rétention pour l'eau (CHAUVEL *et al.*, 1991) et, d'autre part, une modification de la quantité et de la distribution du carbone organique (CERRI *et al.*, 1991), avec une diminution des quantités de fragments de racines et d'humus extractible.

Les variations saisonnières de l'humidité du sol dépendent fortement de la pluviosité et du couvert végétal (fig. 1). En 1987 (année climatique normale), sous forêt, durant les moments de fortes précipitations, de janvier à fin mai, le sol est resté très humide, mais rarement saturé en eau ; puis il a

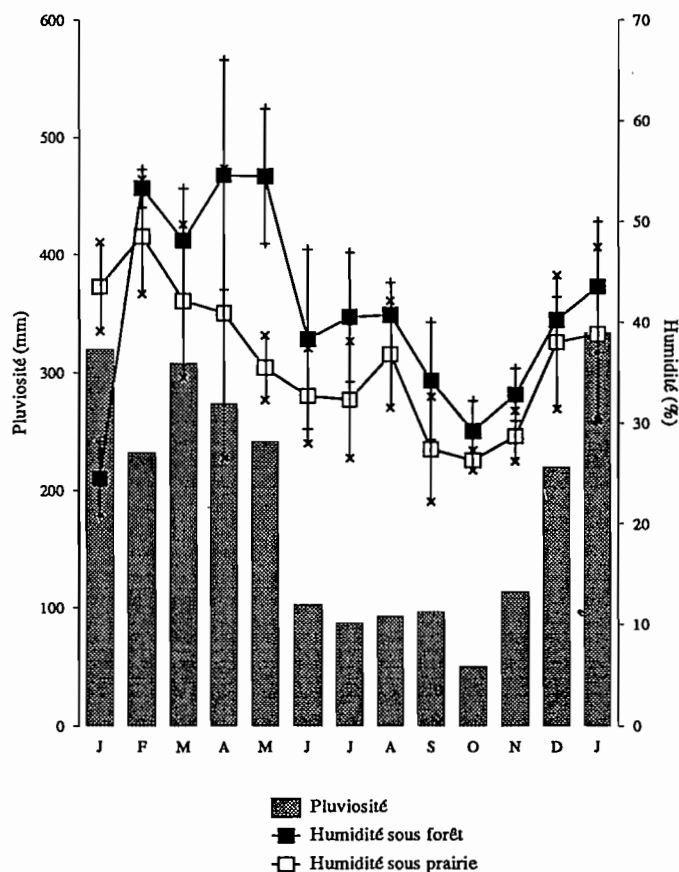


FIG. 1 – Distribution mensuelle des pluies et des variations de l’humidité pondérale du sol de 0 à 5 cm, sous forêt et sous pâturage de janvier 1987 à janvier 1988.
Monthly rainfall distribution and variations in soil humidity (depth 0-5 cm) in forest and pasture from January 1987 to January 1988.

subi des alternances d’humectation et de faible dessiccation de juin à septembre, avant d’être soumis à une sécheresse plus marquée en octobre ; le sol s’est ensuite progressivement réhumidifié à partir du mois de novembre (CABRAL, 1991).

Sous pâturage, en période de fortes pluies, de janvier à mai, la partie superficielle du sol est parfois saturée d’eau pendant plusieurs jours ; la phase de dessiccation y est aussi plus accentuée et prolongée.

Méthodologie

L’étude concerne la couche superficielle de 20 cm de profondeur.

Les racines ont été séparées à quatre époques de l’année climatique 1987, sous forêt et sous pâturage, à partir de 6 blocs de 20 cm de côté, compris entre 0 et 5 cm et 5 et 20 cm de profondeur. Ces blocs sont situés dans 2 parcelles de 10 ares cha-

cune choisies au sein de la forêt et du pâturage. Les résultats donnés pour chaque date et chaque profondeur correspondent aux moyennes et aux écarts-types obtenus sur les 6 prélèvements dans chaque situation. Les résultats obtenus ont été interprétés statistiquement en utilisant le test t de Student appliqué aux petits échantillons.

La séparation des racines à partir de chaque bloc prélevé a d’abord été faite par tamisage (maille de 2 mm) et lavage. Les racines recueillies sur le tamis ont été ensuite triées, selon leur diamètre, en trois classes : inférieur à 1 mm, compris entre 1 et 5 mm, et supérieur à 5 mm.

Pour chacun des six échantillons, trois sous-échantillons de sol, de 100 cm³ chacun, ont été soumis à des séparations successives par flottation dans l’eau jusqu’à épuisement. Le matériel surnageant a été alors séché à l’étuve jusqu’à poids constant.

L'observation à la loupe binoculaire et la pesée ont alors montré que la plus grande partie du matériel ainsi séparé par flottation était constituée par des fragments de très fines racines (diamètre < 0,5 mm), leur proportion par rapport au poids total de matériel surnageant étant estimée à 65 % dans le cas du sol sous forêt et à 82 % dans le sol sous pâturage où les radicelles sont à la fois plus nombreuses et plus fragiles. On a donc calculé les teneurs correspondantes pour chaque système étudié et les résultats ont été incorporés au poids des racines de diamètre inférieur à 1 mm, déterminé lors de la première phase du travail (1).

La biomasse microbienne a été mesurée chaque mois, selon la méthode de JENKINSON et POWLSON (1976) « modifiée », qui consiste à tuer les micro-organismes par des vapeurs de chloroforme, puis à incuber l'échantillon traité. Par rapport au sol témoin, l'échantillon soumis à fumigation montre une phase de minéralisation très rapide. La quantité de gaz carbonique produite après incubation est proportionnelle à la biomasse microbienne qui peut être ainsi globalement évaluée. Pour la présente étude ne sont présentés que les résultats obtenus au moment des prélèvements de racines.

RÉSULTATS

Les résultats obtenus sont représentés sur la figure 2 et le tableau II.

La biomasse des racines

(a) Sous forêt, la masse totale des racines contenue dans le sol entre 0 et 20 cm de profondeur est comprise entre 3 500 et 5 300 g par m². Les racines grossières, de diamètre supérieur à 5 mm, présentent une variabilité spatiale très élevée telle que les différences observées au cours de l'année ne sont pas significatives. Les racines les plus fines (d < 1 mm) constituent de 26 à 34 % de la masse racinaire totale dans la couche 0-20 cm. Dans la couche la plus superficielle (0-5 cm), elles sont encore plus abondantes et représentent de 36 à 46 % du total. Dans cette couche la plus superficielle, la quantité de racines fines varie fortement et de manière statistiquement significative au cours de l'année climatique : le maximum est observé en avril en pleine saison des pluies, tandis que le minimum se situe en octobre, mois le plus sec de la période étu-

diée. Dans la couche 5-20 cm, les variations saisonnières de la masse des racines fines, qui ne représentent plus que 15 à 26 % du total, restent relativement faibles et peu significatives.

(b) Sous pâturage, dans la couche 0-20 cm, la masse totale des racines est comprise entre 1 500 et 3 200 g.m². La biomasse racinaire totale contenue dans les 5 cm superficiels varie encore plus fortement que sous forêt. On note que :

- la quantité totale de racines est nettement plus réduite que sous forêt ;
- l'abondance relative des racines les plus fines est plus importante (63 à 77 % du total), de sorte que leur quantité dans la couche de 0 à 5 cm est égale ou supérieure à celle observée sous forêt ;
- les racines fines présentent des variations saisonnières accentuées et comparables à celles observées sous forêt ; cependant l'hétérogénéité spatiale est trop élevée pour que les résultats soient significatifs.

Dans la couche de 5 à 20 cm, la décroissance de la quantité totale de racines, comparée à celle sous forêt, est encore plus forte ; les racines de diamètre inférieur à 1 mm représentent 32 à 57 % du total, leur variations saisonnières sont faibles ; les grosses racines héritées de la végétation forestière disparaissent progressivement.

La biomasse microbienne

(a) Sous forêt, les variations saisonnières de la biomasse microbienne de la couche superficielle 0-5 cm oscillent entre 1 000 et 1 700 µg C.g⁻¹ de sol, ce qui représente de 1,9 à 3,3 % du carbone organique de la couche. Ces variations accompagnent les variations saisonnières de la biomasse racinaire. Dans la couche de 5 à 20 cm, la biomasse microbienne est relativement moins abondante et moins variable, tout comme la biomasse racinaire.

(b) Sous pâturage, dans la couche 0-5 cm, la basse valeur initiale de la biomasse microbienne (750 µg C.g⁻¹, soit 1,8 % du C organique) au début de l'expérience précède une forte augmentation en saison des pluies, qui se manifeste également dans la couche comprise entre 5 et 20 cm. Cependant, entre 0 et 5 cm de profondeur, cette augmentation de la biomasse se poursuit dans le temps pour atteindre sa valeur maximale de 1 500 µg C.g⁻¹ (soit 3,6 % du C organique) lors du dernier prélèvement, tandis que dans la couche de 5 à 20 cm, la

(1) Au total, la séparation des racines à partir d'un bloc de terre demande près d'une journée d'un travail minutieux. Le présent travail a donc nécessité près de 4 mois de manipulations.

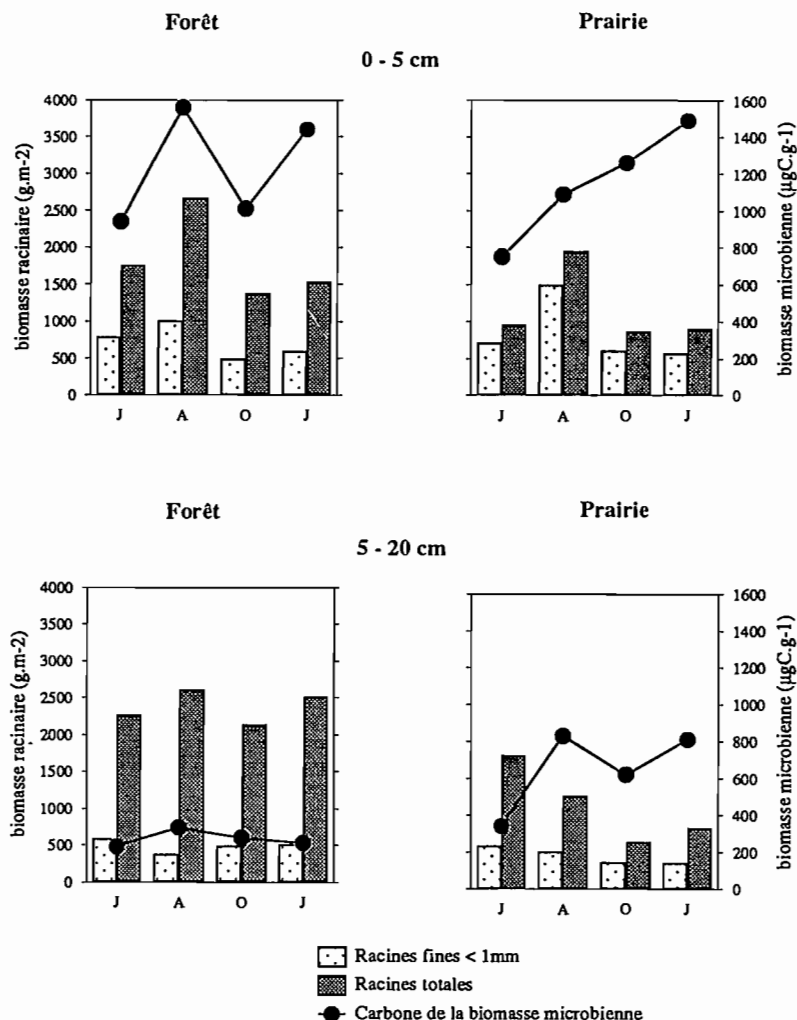


FIG. 2 – Poids sec des racines fines et total des racines à quatre époques de l'année, et carbone de la biomasse microbienne sous forêt naturelle et sous pâturage récent.
 Dry weights of the fine roots and total roots and carbone of the microbial biomass in forest and recent pasture soil at four different times of the year.

biomasse microbienne évolue peu durant la période sèche. Il n'apparaît pas ici de variation nette de la biomasse microbienne en fonction de celle de la biomasse racinaire.

DISCUSSION

Estimations globales, importance relative des racines très fines

Les résultats du tableau II montrent que, sous forêt, les quantités totales de racines extraites de la couche comprise entre 0 et 20 cm varient au cours de l'année climatique entre 3,5 (au maximum de sécheresse) et 5,3 kg/m² (en pleine saison des

pluies). KLINGE *et al.* (1975) évaluent la biomasse aérienne totale à 40 kg/m² ; les racines contenues dans la couche de 0-20 cm représenteraient donc de 9 à 13 % du poids de cette biomasse aérienne.

Il est aisé de comparer ces valeurs à celles obtenues pour une couche de même profondeur, en d'autres endroits, par d'autres équipes. La valeur minimale (de saison sèche) que nous avons mesurée est légèrement supérieure à celles obtenues par CHAUVEL *et al.* (1987) dans un site très voisin (3,4 kg/m² sur 2 surfaces de 1 m² contiguës). Elle est également voisine de la valeur maximale obtenue par HUMBEL (1978) en Guyane française (3,7 kg/m²) utilisant la même méthode.

TABLEAU II

a. Variations du poids sec de racines (g.m²) dans la couche supérieure du sol, sous forêt et sous pâturage. Les valeurs en italique sont les écarts-type (n=6). Les valeurs soulignées sont celles qui sont citées dans le texte

b. Pourcentage par rapport au total des racines de la couche considérée

a. Variations of dry weight of roots (g.m²) in the upper layers of the forest and pasture soils.

Values in italica are standard déviation (n=6). The underlined values are those cited in the text

b. Percentage in relation to the total of the layer

Classe de diamètre	Profond. (cm)	Forêt			Pâturage				
		Janvier	Avril	Octobre	Janvier	Janvier	Avril	Octobre	Janvier
Racines grosses d>5mm	0-5	855,0a	1 594,0ab	695,0ac	744,0ac	220,0a	421,0a	220,0a	234,0a
		<i>1 553,0</i>	<i>749,0</i>	<i>656,0</i>	<i>430,0</i>	<i>307,0</i>	<i>317,0</i>	<i>168,0</i>	<i>218,0</i>
	5-20	1 468,0a	2 170,0a	1 437,0a	1 792,0a	1 122,0a	724,0ab	208,0ac	398,0ac
		<i>1 323,0</i>	<i>1 545,0</i>	<i>1 430,0</i>	<i>1 325,0</i>	<i>1 495,0</i>	<i>298,0</i>	<i>107,0</i>	<i>391,0</i>
	0-20	2 323,0	3 764,0	2 132,0	2 536,0	1 342,0	1 145,0	428,0	632,0
Racines moyennes d 1-5mm	0-5	112,0a	68,8b	188,0c	199,0ac	16,5a	27,6b	47,0bc	96,1abc
		<i>30,0</i>	<i>16,0</i>	<i>111,0</i>	<i>138,0</i>	<i>8,8</i>	<i>8,6</i>	<i>42,0</i>	<i>81,0</i>
	5-20	214,0a	60,8ab	207,0c	216,0ac	96,8a	31,6ab	65,0c	72,3ac
		<i>210,0</i>	<i>20,0</i>	<i>82,0</i>	<i>43,0</i>	<i>74,0</i>	<i>14,0</i>	<i>18,0</i>	<i>36,0</i>
	0-20	326,0	129,6	395,0	415,0	113,3	59,2	112,0	168,3
Racines fines d<1mm	0-5	791,0a	<u>1 008,0ab</u>	<u>499,0c</u>	599,0c	720,0a	1 503,0ab	609,0ac	574,0ac
		<i>165,0</i>	<i>380,0</i>	<i>192,0</i>	<i>212,0</i>	<i>352,0</i>	<i>794,0</i>	<i>304,0</i>	<i>279,0</i>
	5-20	592,0a	381,0b	497,0ab	509,0ab	588,0a	504,0a	367,0a	354,0a
		<i>105,0</i>	<i>113,0</i>	<i>235,0</i>	<i>123,0</i>	<i>610,0</i>	<i>181,0</i>	<i>108,0</i>	<i>107,0</i>
	0-20	1 383,0	1 389,0	996,0	1 108,0	1 308,0	2 007,0	976,0	928,0
Total	0-5	1 758,0	2 671,0	1 382,0	1 542,0	957,0	1 952,0	876,0	904,0
		<i>2 274,0</i>	<i>2 612,0</i>	<i>2 141,0</i>	<i>2 517,0</i>	<i>1 807,0</i>	<i>1 260,0</i>	<i>640,0</i>	<i>824,0</i>
	0-20	4 032,0	<u>5 276,0</u>	<u>3 523,0</u>	4 059,0	2 764,0	<u>3 212,0</u>	<u>1 516,0</u>	1 728,0

Les valeurs suivies par des lettres différentes sont significativement différentes (p<0,005) selon le test t de Student de comparaison des moyennes appliqué aux petits échantillons (A l'intérieur de chaque système étudié).

Classe de diamètre	Profond. (cm)	Forêt			Pâturage				
		Janvier	Avril	Octobre	Janvier	Janvier	Avril	Octobre	Janvier
d>5mm	0-5	48	60	50	48	23	22	25	26
		<i>65</i>	<i>83</i>	<i>67</i>	<i>71</i>	<i>62</i>	<i>57</i>	<i>33</i>	<i>48</i>
	5-20	65	83	67	71	62	57	33	48
		<i>58</i>	<i>71</i>	<i>61</i>	<i>62</i>	<i>49</i>	<i>36</i>	<i>28</i>	<i>36</i>
	0-20	58	71	61	62	49	36	28	36
d 1-5mm	0-5	6	3	14	13	2	1	5	11
		<i>9</i>	<i>2</i>	<i>10</i>	<i>9</i>	<i>5</i>	<i>3</i>	<i>10</i>	<i>9</i>
	5-20	9	2	10	9	5	3	10	9
		<i>8</i>	<i>3</i>	<i>11</i>	<i>10</i>	<i>4</i>	<i>2</i>	<i>8</i>	<i>10</i>
	0-20	8	3	11	10	4	2	8	10
d<1mm	0-5	<u>46</u>	37	<u>36</u>	39	75	<u>77</u>	70	<u>63</u>
		<i>26</i>	<i>15</i>	<i>23</i>	<i>20</i>	<i>32</i>	<i>40</i>	<i>57</i>	<i>43</i>
	5-20	46	37	36	39	75	77	70	63
		<i>34</i>	<i>26</i>	<i>28</i>	<i>28</i>	<i>47</i>	<i>62</i>	<i>64</i>	<i>54</i>
	0-20	34	26	28	28	47	62	64	54

Bien qu'aucun de ces auteurs n'indique la saison durant laquelle ont été faits les prélèvements, on peut déduire de l'exposé de leurs objectifs (étude de la faune du sol et de la dynamique de l'eau), que les prélèvements ont été faits en saison humide. Le décalage des résultats peut s'expliquer en partie par la méthode de séparation par flottation qui, appliquée à des sols très argileux, a permis de séparer les racines les plus fines (de diamètre inférieur à 0,5 mm). Il peut aussi être attribué pour une part à la variabilité spatiale de la biomasse racinaire sous forêt. Ces racines fines sont physiologiquement les

plus actives et les plus aptes à porter des mycorhizes ectotrophes (ST JOHN, 1980). Leur quantité est deux fois plus importante, sous forêt, et dix fois plus importante, sous pâturage, que celle des racines de diamètre proche de 1 mm séparées manuellement. La séparation par flottation des racines les plus fines apparaît donc nécessaire pour l'étude quantitative des biomasses racinaires.

Dynamique annuelle de la biomasse racinaire

Le développement intense des racines fines dans la partie la plus superficielle du sol serait, en zone

tempérée, selon DREW (1990), plus accentué sous pâturage que sous forêt. La longueur de fines racines pourrait ainsi atteindre 36 à 340 cm/cm³ de sol dans les horizons de surface sous pâturage permanent, tandis que dans les systèmes sous forêt, cette longueur atteindrait seulement 0,5 à 1 cm/cm³ de sol. Cette différence serait compensée par un « turnover » beaucoup plus rapide des racines sous forêt. Ces résultats divergent de ceux de DAHLMAN et KUCERA (1965), qui établissent leurs évaluations en se basant sur les différences entre les poids des racines au début et en fin de période de croissance racinaire maximale. Ces auteurs montrent ainsi que, sur une profondeur de 0 à 25 cm, la biomasse des racines de graminées est caractérisée par un court temps de vie et donc un taux de renouvellement élevé ; en dessous de 25 cm, le « turnover » paraît beaucoup plus lent.

Dans le présent travail (tabl. III), les taux de renouvellement des racines fines (%) et les quantités de racines renouvelées annuellement (t/ha/an) sont estimés en se basant sur les différences obtenues entre les valeurs maximales (pleine saison des pluies, avril) et minimales (mois le plus sec, octobre). On peut considérer que ces quantités de racines renouvelées annuellement sont ici sous-évaluées, sachant qu'une partie de la production de nouvelles racines est compensée par la disparition de racines plus anciennes. Dans l'écosystème forestier, le taux de renouvellement des racines fines de la couche 0-5 cm est égal à 102 %. Ceci correspond à un apport de 5,1 t/ha/an, du même ordre de grandeur que la production de litière (8,2 t/ha/an).

Sous pâturage, en dépit d'une forte variabilité spatiale, il semble que le taux de renouvellement soit encore plus élevé (147 %), la quantité de

racines renouvelables annuellement atteint alors 8,9 t/ha/an.

Dynamique de la biomasse microbienne

Sous forêt, les variations de la biomasse microbienne dans la couche la plus superficielle sont visiblement synchrones, non pas seulement avec les variations climatiques, mais surtout avec la biomasse racinaire (fig. 2). Ceci indique que, dans les conditions naturelles, ces deux variables biologiques sont interdépendantes et saisonnières. Ceci a été établi au cours d'une autre expérimentation, réalisée dans le but d'évaluer l'effet à court terme de la quantité de racine et de l'humidité du sol sur la biomasse microbienne. On a obtenu des coefficients de corrélation hautement significatifs ($p < 0,001$) entre les deux variables biologiques d'une part et l'humidité pondérale du sol d'autre part (LUIZÃO, 1989b).

Cette corrélation pourrait s'expliquer par le fait que les micro-organismes associés aux racines consomment l'énergie représentée par les composés organiques qui sont libérés continuellement par les racines sous forme d'exsudats et de dépôts (WARENBURG et ROUMET, 1987). Pour ce qui est de la nutrition azotée, SALLIH *et al.* (1987) ont montré, par une expérimentation utilisant ¹⁴C et ¹⁵N, que la mobilisation de N organique par l'effet de rénovation du système racinaire assurait à la biomasse microbienne environ 75 % de l'azote qui lui est nécessaire.

Sous pâturage, la faible valeur initiale de la biomasse microbienne est sans doute attribuable à l'effet destructeur de la déforestation préalable au semis de graminées (CERRI *et al.*, 1985). Dans la couche superficielle (0-5 cm), les variations de la biomasse microbienne au cours des mesures ne

TABLEAU III

Estimation du « taux de renouvellement » (tr) et de la quantité de racines fines renouvelable annuellement (q) dans la couche 0-5 cm du sol sous forêt et sous pâturage

Estimated values for renewal rates (tr) and potentially renewable amounts of fine roots (q) in the 0-5 cm soil layer in forest and pasture

Caractéristiques	Forêt	Pâturage
tr *	102	147
q *	5,1	8,9

$tr = (Q_{max} - Q_{min}) / Q_{min} \times 100$
 $q (t/ha/an) = Q_{max} - Q_{min}$

Q_{max} = quantité maximale de racines, saison humide
 Q_{min} = quantité minimale de racines, saison sèche

suivent pas celles de la biomasse des racines, bien que celles-ci présentent un caractère saisonnier accentué. La biomasse microbienne continue à croître pendant la saison sèche tandis que la biomasse racinaire diminue nettement. Ceci est sans doute attribuable aux deux apports d'engrais NPK faits au cours de l'expérimentation. À la différence de la biomasse microbienne, les racines ne semblent réagir à la fertilisation que durant la saison des pluies au moment où les transferts par l'eau et l'absorption des nutriments sont facilités. La biomasse microbienne serait ainsi plus réactive en condition d'humidité réduite.

Il apparaît ainsi que, sous forêt, une relation générale semble se dégager entre l'évolution des biomasses microbienne et racinaire, ce qui n'est pas observé sous pâturage, sans doute en raison des apports de fertilisants et des modifications du pédoclimat liés à la mise en culture.

Dynamique du système « sol-plante »

Les relations mises en évidence entre deux composantes du système (racines et biomasse microbienne) ne doit pas faire oublier que celles-ci ne constituent que deux éléments importants d'un ensemble, dont le fonctionnement très complexe dépend de nombreuses interactions entre :

- 1) – les phases liquide, solide et gazeuse ;
- 2) – les matières minérales et organiques ;
- 3) – la biomasse et la minéralomasse.

Quelques observations, faites au début 1991 sur la mésofaune dans cette même station de la FUCADA (LAVELLE, comm. pers.), montrent clairement l'importance des vers de terre dans le fonctionnement du système sous forêt et sous pâturage. De même les études lysimétriques (CERRI *et al.*, 1991, ; GRIMALDI et CHAUVEL, 1991) montrent que les solutions exercent une action déterminante sur la régulation des systèmes considérés. Seule une approche multidisciplinaire associant toutes les compétences requises peut conduire à la compréhension du fonctionnement du système et de ses altérations pos-

sibles. Ce travail est actuellement abordé dans le cadre du Laboratoire de pédobiologie de l'Inpa.

CONCLUSIONS

Les résultats obtenus dans cette étude attirent une fois de plus l'attention sur le rôle déterminant exercé par les horizons très superficiels du sol (0-5 cm) dans le fonctionnement des écosystèmes forestiers (TOUTAIN, 1984). La quantité de racines très fines est très élevée, nettement supérieure aux résultats publiés dans la littérature. L'importance de la dynamique saisonnière est mise en évidence par le taux de renouvellement élevé de ces racines. Il apparaît que leurs apports en carbone organique sous forme figurée (exsudats non déterminés) et en éléments minéraux sont pratiquement comparables à ceux de la litière.

Comme l'avaient montré STARK et JORDAN (1978), ce sont ces horizons à forte concentration de racines et de mycorhizes qui assurent la fixation et le recyclage de 99,9 % des éléments minéraux marqués (⁴⁵Ca et ³²P) apportés en solution à la surface du sol. C'est d'ailleurs uniquement dans cette même couche de sol que les études lysimétriques ont mis en évidence la présence de quantités notables d'éléments minéraux en solution. Toute gestion, mise en valeur et réhabilitation de ces milieux doit d'abord prendre en compte la nature et la dynamique de cet horizon superficiel, et sa relation avec les horizons plus profonds.

Si l'efficacité du recyclage des nutriments dépend aussi fortement de la concentration de l'activité biologique à proximité immédiate de la surface, le bilan hydrique de la forêt semble être, durant les périodes sèches (quatre mois ou plus), essentiellement dépendant des racines profondes qui se développent jusqu'à 6 m de profondeur et plus, à la base de l'horizon meuble argileux. Une étude de la dynamique des racines dans ces horizons profonds est en cours.

Manuscrit accepté par le Comité de rédaction le 5 avril 1993.

BIBLIOGRAPHIE

- BRINKMANN (W.L.F.), 1989. – System propulsion of an Amazonian lowland forest: an outline. *Geojournal*, 19 (4) : 369-380
- CABRAL (O.M.R.), 1991. – Armazenagem dá agua num solo com floresta de terra firme e com seringal implantado. *Dissertação de Mestrado*, INPE, São José dos Campos, 104 p.
- CERRI (C.C.), VOLKOFF (B.), ANDREUX (F.), 1991. – Nature and behaviour of organic matter in soils under natural forest, and after deforestation, burning and cultivation, near Manaus. *Forest Ecology and Management*, 38 : 247-257.
- CHAUVEL (A.), GRIMALDI (M.), TESSIER (D.), 1991. – Changes in pore-space distribution following deforestation and revegetation: an example from the Central Amazon Basin, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 38 : 259-271.
- CHAUVEL (A.), GUILLAUMET (J.L.), SCHUBART (H.O.R.), 1987. – Importance et distribution des racines des êtres vivants dans un « latosol » argileux sous forêt amazonienne. *Rev. Écol. Biol. Sol.*, 24 (1) : 19-48.
- CPCS, 1967. – Commission de Pédologie et Classification des Sols – Classification des sols. Laboratoire de Géologie-Pédologie. Ensa Grignon, France, 87 p.
- DAHLMAN (R.C.), KUCERA (C.L.), 1965. – Root productivity and turnover in native prairie. *Ecology*, 46 : 84-89.
- DREW (M.C.), 1990. – « Root function, development, growth and mineral nutrition » in J.M. LYNCH (ed.), 1990.
- GOLLEY (F.B.), MEDINA (E.) (eds.), 1975. – *Tropical Ecological systems. Trends in terrestrial and aquatic research*, Berlin, Springer Verlag.
- GRIMALDI (C.), CHAUVEL (A.), 1991. – Présentation de quelques données sur les solutions des sols sous forêt, dans la région de Manaus (Amazonie Brésilienne). *Quatrième Réunion du Groupe de Réflexion sur l'Étude de la Solution du Sol en Relation avec l'Alimentation des Plantes* (Gressap). Montpellier, Cnearc, 13 sept. 91 : 7-8.
- GUILLAUMET (J.L.), KAHN (F.), 1982. – Structure et dynamique de la forêt. *Acta Amazonica*, 12 : 61-78.
- HUMBEL (F.X.), 1978. – Caractérisation par des mesures physiques, hydriques et d'enracinement des sols de Guyane française à dynamique de l'eau superficielle. *Bull. Ass. Fr. Étud. Sol. Sc. Sol.*, 2 : 83-94.
- HUTTEL (C.), 1974. – Root distribution and biomass in three Ivory Coast rain-forest plots-coll. *Ecol. Trop.*, Caracas, Golley and Medina (eds.) : 123-130.
- JENKINSON (D.S.), POWLSON (D.S.), 1976. – The effects of biocidal treatments on metabolism in soil V – A method for measuring soil biomass. *Soil Biol. Biochem.*, 8 : 209-213.
- KLINGE (H.), RODRIGUES (W.A.), BRUNIG (E.), FITTKAU (E.J.), 1975. – « Biomass and structure in Central Amazonian rain forest » in F.B. GOLLEY and E. MEDINA (eds.), 1975 : 115-122.
- LAVELLE (P.), BLANCHART (E.), MARTIN (A.), BAROIS (I.), TOUTAIN (F.), 1991a. – A hierarchical model for decomposition in terrestrial ecosystems : application to soils in the humid tropics. *Biotropica*, à paraître.
- LAVELLE (P.), SPAIN (A.), BLANCHART (F.), MARTIN (A.), SCHAEFER (R.), 1991 b. – The impact of soil fauna on the properties of soils in the humid tropics. *Soil Sci. Soc. America J.*, à paraître.
- LEOPOLODO (P.R.), FRANKEN (W.), SALATI (E.), RIBEIRO (M.N.), 1987. – Towards a water balance in the Central Amazonian region. *Experientia*, 43 : 222-233.
- LUCAS (Y.), 1989. – Systèmes Pédologiques en Amazonie Brésilienne. Équilibres, Déséquilibres et Transformations. *Thèse Univ. Poitiers*, 153 p.
- LUIZÃO (F.J.), 1989a. – Litter production and mineral element input to the forest floor in a Central Amazonia forest. *GeoJournal*, 19 (4) : 407-417.
- LUIZÃO (R.C.C.), 1989b. – Variações temporais da biomassa microbiana e aspectos da ciclagem de nitrogênio em solos de floresta natural e de sistemas manejados na Amazônia Central. *Dissertação de Mestrado*. Inpa/FUA, Manaus, 67 p.
- LYNCH (J.M.) (ed.), 1990. – *The Rhizosphere*. Chichester, U.K., John Wiley and Sons.
- NIMER (E.), 1989. – Climatologia do Brasil. IBGE, 421 p.
- RADAMBRASIL, 1978. – *Levantamento de Recursos Naturais*. Vol. 18, folha SA. 20 Manaus. Rio de Janeiro, Ministério das Minas e Energias.
- SALLIH (Z.), BOTTNER (P.), BILLES, SOTO (P.), 1987. – Interaction racines-micro-organismes : carbone et azote de la biomasse microbienne développée en présence de racines. *Rev. Écol. Biol. Sol.*, 24 (3) : 459-471.
- SCHUBART (H.O.R.), FRANKEN (W.E.), LUIZÃO (F.J.), 1984. – Uma floresta sobre solos pobres. *Ciência Hoje*, 2 (10) : 26-32.
- STARK (N.M.), JORDAN (C.F.), 1978. – Nutrient retention by the root mat of an Amazonian rain forest. *Ecology*, 59 (3) : 434-437.
- ST JOHN, 1980. – Tamanho da raiz, pelos radiculares e infecção por microrizas : um reexame da hipótese de Baylis com árvores tropicais. *Acta Amazonica*, 10 : 141-145.
- TALBOT (R.W.), ANDREAE (M.O.), BERRESHEIN (H.), ARTAXO (P.), GARSTANG (M.), HARRIS (R.C.), BEECHER (K.M.), LI (S.M.), 1990. – Aerosol chemistry during the wet season in Central Amazonia. The influence of long transport. Washington, *J. Geoph. Res.*, 95 : 1955-1970.
- TOUTAIN (F.), 1984. – Les phénomènes de biodégradation et d'humification dans les écosystèmes forestiers tropicaux. Rôle et conséquences de la diversité spécifique. *Biology International*, 6 : 19-29.
- WARENBOURG (F.R.), ROUMET (C.), 1987. – Interactions plantes-micro-organismes et statut énergétique dans la rhizosphère. Rôle de la microflore. *Rev. Écol. Biol. Sol.*, 24 (3) : 473-483.