

# Une évaluation de la vitesse de l'accumulation superficielle de matière par la faune du sol à partir de la datation des charbons et de l'humine du sol.

## Exemple des latosols des versants du lac Campestre, Salitre, Minas Gerais, Brésil

René Boulet, Luis C.R. Pessenda, Everaldo C.C. Telles et Adolpho J. Melfi

C.R. Acad. Sci. Paris,  
t. 320, série II a,  
p. 287 à 294,  
1995

**Résumé** La datation des charbons ainsi que de l'humine, à diverses profondeurs, dans une couverture latosolique, en haut, quart supérieur et mi-pente, amène, par la similitude des variations des âges obtenus en fonction de la profondeur, à attribuer l'enfouissement des charbons et de l'humine à l'accumulation superficielle de matière par la faune. La vitesse de cet enfouissement varie dans les trois profils de 0,21 à 0,23 mm par an.

**Mots-clés** : Remontée biologique, Datation, Charbons, Humine.

L. P., E. T. : CENA,  
avenue Centenario 303,  
CP 96, 13400 Piracicaba, Brésil;

R. B. : ORSTOM, UR 12,  
Instituto de Geociências,  
DGG, USP, CP 20899, CEP 01498-970  
Sao Paulo, SP, Brésil;

A. J. M. : Département  
de Géophysique,  
IAG-NUPEGEL,  
Avenida Miguel Estefano 4200,  
CEP 04301-000 Sao Paulo, SP, Brésil.

**Abstract** Evaluation of the rate of surface biological accumulation of soil matter using radiocarbon dating on charcoal and soil humin fraction. A case study of oxisols from the basin of the "Lagoa Campestre", Central Brazil

Radiocarbon dating of charcoal and humin at different depths, of three soil pits in an oxisol, yielded similar age variations in relation to soil depth. This indicates that the charcoal and humin burial can be attributed to the soil fauna. Rates of accumulation in this soil range from 0.21 to 0.23 mm/year.

**Keywords** : Biological remount, <sup>14</sup>C dating, Charcoal, Humin.

UNION FONDS Documentaire

N° : 42495

Cote : B ep 1

Abridged  
English  
Version

### INTRODUCTION

THE remount of deep soil matter by the soil fauna is well documented in tropical regions. The amount of soil matter carried by termites to the soil surface has been estimated by evaluating the mass and growth rate of the termite mounds. Lee and Wood (1971) estimated that the surface accumulation rate of soil matter was 0.025 mm/year for West Africa, and ranged from 0.0125 to 0.1 mm/year in Australia. Earthworms are also involved in transport of soil matter, but they are more effective in the top 60 cm of the soil column (Lavelle, 1983).

Some Brazilian soils are characterized by the presence of dark carbon-rich horizons at depths between 1 to 2 m. These horizons have been attributed to the effect of forest fires during drier periods. The burial of charcoal can be related to colluvial processes (Oliveira *et al.*, 1985; Modenesi, 1992). Some studies have also proposed that the distribution of charcoal in soils is related to biological activity (Soubiès, 1980; Miklos, 1992).

The data presented in this paper demonstrate that the distribution of charcoal in the studied tropical soil is related to the transport and surface accumulation of soil matter by the

### Note

présentée par  
Georges Pédro.

remise le 14 novembre 1994,  
acceptée après révision  
le 16 décembre 1994.

soil fauna. Estimates of the rate of accumulation are also presented in this paper.

#### STUDY SITE AND METHODS

The study site is located in the region of Salitre de Minas (19°S, 46°46'W), in central Brazil. The soils under investigation are part of a lagoon basin (Lagoa Campestre). The substratum is formed by peridotites, pyroxenites and carbonatites. The soil cover is about 10 m thick, and is characterized by a porous microaggregated structure (oxisol), with a high clay content (> 80%). Three soil pits were opened along a slope under mesophytic semideciduous forest, one pit being located at the top of the slope. 10 kg of soil were collected at 10 cm intervals for soil characterization and radiocarbon dating. Soil humin was isolated (Pessenda *et al.*, in press) and charcoal samples were collected for dating. These analyses were carried out at the <sup>14</sup>C laboratory of Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) using the benzene technique and liquid scintillation counting (Pessenda and Camargo, 1991).

#### RESULTS

A trend of increasing age with soil depth is observed in the charcoal samples, reaching an age of 9,000 years BP at 2 m depth (table I and figure 1). No significant age-depth variation is observed between the three soil profiles. The age of the humin is very similar to that of the charcoal at the same depth, except in the deeper part of the soil profile where the

humin is younger than the charcoal. Additional dating is under way to confirm this pattern.

#### INTERPRETATION

The origin of the charcoal is attributed to fires. The similarity in the depth-age relationship for the three soil locations, including the top of the slope, indicate that colluvial deposition was not the process responsible for the distribution of charcoal in the studied soil. In fact, the top of the slope cannot receive colluvium. The probable cause of charcoal burial is related to biological activity, associated to the transport of soil matter from deeper to shallower horizons. Rates of accumulation in these soils range from 0.21 to 0.23 mm/year and are within the range of rates reported in Botucatu, Brazil (0.21 to 0.34 mm/year) (Miklos, 1992).

#### CONCLUSIONS

Radiocarbon dating in a Brazilian oxisol allowed the investigation of soil dynamics in the tropical region of Brazil, at least during the Holocene. The soil structure in the study area is linked to intense biological activity (Eschenbrenner, 1987; Miklos, 1992) which also explains the relatively high superficial accumulation rates calculated in these soils. Nevertheless, these results demonstrate the importance of the fauna in soil formation in the tropical region of Brazil.

## I. INTRODUCTION

La remontée de matériel profond par la mésofaune du sol est un phénomène évident en pays tropical où les termitières épigées représentent, par leur nombre et par leur volume, une quantité de matière considérable. D'autres insectes participent à ce travail comme les fourmis, ou certains annélides comme les vers de terre. Ainsi, en Amérique du Sud, les fourmis *Atta* construisent des déblais étalés sur des surfaces pouvant atteindre plus de 10 m de diamètre, et dont la couleur,

comparée à celle du profil, permet de localiser l'origine à plusieurs mètres de profondeur. La profondeur des prélèvements effectués par les termites à la recherche d'eau peut atteindre plusieurs dizaines de mètres. De nombreux chercheurs ont tenté d'évaluer la quantité de terre rapportée en surface par les termites, en mesurant le poids et la vitesse de croissance des termitières épigées. Ces estimations, exprimées par la hauteur de la couche de matière qui recouvre ainsi le sol, sont extrêmement variables. Ainsi, Lee et Wood (1971), utilisant leurs mesures et celles de

divers auteurs, donnent les valeurs suivantes : Afrique de l'Ouest : 0,025 mm/an, Nord de l'Australie : 0,0125, 0,02 mm, 0,1 mm/an. Ces évaluations doivent prendre en compte la partie des remontées entraînée par l'érosion (Levêque, 1975), ce qui ne peut être qu'approximatif.

Le rôle des vers de terre dans les remontées biologiques est connu et évalué depuis fort longtemps (Darwin, 1881). Toutefois, ceux-ci ne travaillent que jusqu'à une profondeur maxima de 0,6 m (Lavelle, 1983).

Il existe au Brésil (mais aussi en Afrique) des sols présentant, vers un ou deux mètres de profondeur, des horizons sombres, plus riches en carbone, parsemés de charbons de bois, et qui sont généralement interprétés comme d'anciens horizons humifères enrichis en charbon de bois par des incendies intervenus lors de périodes sèches. L'enfouissement de ces horizons est souvent attribué au colluvionnement (Oliveira *et al.*, 1985; Modenesi, 1988). Récemment, en forêt gabonaise, Oslisly et Dechamps (1994) ont attribué l'enfouissement de pivots racinaires calcinés, généralement localisés en sommet d'interfluve, à un recouvrement éolien permis par une phase plus sèche que l'Actuel. Par contre, Soubiès (1980), constatant que la profondeur des concentrations de charbons qu'il a observées en Amazonie varie peu au long de la pente, attribue leur fossilisation à l'activité biologique. Miklos (1992) montre également que le recouvrement des horizons sombres de la couverture pédologique qu'il étudie à Botucatu (SP, Brésil) est d'origine biologique.

La remontée biologique de matière à la surface du sol est probablement un mécanisme important de la pédogenèse, qui, comme le souligne Tardy (1993), n'a pas été suffisamment considéré par les pétrographes et les géochimistes des sols tropicaux.

S'il est important de prendre en compte ce mécanisme, la question qui se pose immédiatement est de savoir à quelle vitesse il fonctionne. Le but de cette Note est de tenter de donner un ordre de grandeur de cette vitesse.

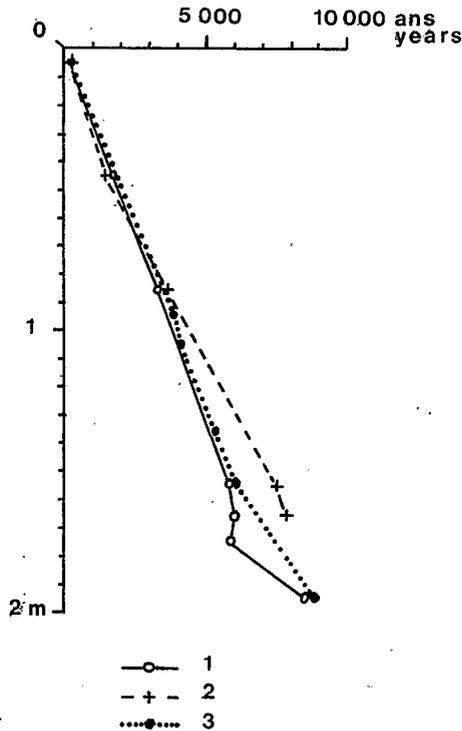
## II. CARACTÉRISATION DU SITE ET MÉTHODE D'ÉTUDE

La zone d'étude est localisée dans le Brésil Central, près de Salitre de Minas (19°S, 46°46'W), dans le bassin d'une dépression appelée Lac Campestre. Le lac Campestre est situé au centre d'un complexe ultramafique alcalin, d'âge Crétacé, constitué principalement de pyroxéno-péridotites auxquelles sont associés des veines de carbonatites, des dykes de syénites et des fénites. Son bassin présente une forme approximativement circulaire et il est drainé par un exutoire à écoulement permanent, insuffisant cependant pour vider le lac. Le climat est tropical, avec une pluviosité de 1 600 mm et une température moyenne annuelle de 20 °C. La couverture pédologique des versants est épaisse (plus de 10 m), très argileuse (80 % < 2 µm), très microagrégée et poreuse, de couleur brune en surface, passant ensuite, de façon très progressive, à brun rouge (5 YR) à 1,7 m de profondeur ; elle correspond aux sols ferrallitiques de la classification française. On y observe, dans les deux mètres supérieurs explorés par la tranchée, de nombreux volumes rouge vif (2,5 YR), de 5 mm en moyenne, meubles. Ces volumes s'extraient facilement lorsque le matériel est sec, car ils sont légèrement plus cohérents. On constate alors qu'ils présentent la forme de tubes, avec ou sans lumière centrale, souvent à structure concentrique, plus compacte que leur encaissant microagrégé. Il s'agit de remplissages biologiques. Or, le sondage réalisé jusqu'à 8,2 m montre que les horizons présentant cette couleur n'apparaissent qu'à plus de 4,7 m de profondeur. Ceci implique que ces remplissages biologiques proviennent de matériaux profonds. La faune du sol n'a pas été étudiée par des spécialistes dans cette région, mais les seuls agents identifiés, susceptibles de prélèvements aussi profonds, sont les fourmis Atta et, surtout, les termites.

La majeure partie du bassin du lac est occupée par des pâturages parsemés d'arbustes et d'arbres (cerrado) et par quelques cultures, mais il reste des lambeaux d'une forêt semi-caducifoliée (cerradão) très ancienne,

Variation de l'âge des charbons en fonction de la profondeur dans les trois profils. 1 : Haut de pente. 2 : Quart supérieur de pente. 3 : Mi-pente.

Depth-age relation in the three profiles. 1: Top of slope. 2: Upper quarter of slope. 4: Half way up slope.



sinon primaire, toutefois fortement marquée par les coupes de bois. C'est sous un de ces lambeaux, qui occupe les deux tiers supérieurs d'un versant, que l'on a ouvert trois tranchées, l'une en sommet d'interfluve, la seconde en quart supérieur de pente, la troisième à mi-pente. Environ 10 kg de terre ont été prélevés tous les dix centimètres dans chaque tranchée et les charbons visibles à l'œil nu séparés sur place. Une séparation plus fine a ensuite été réalisée au laboratoire. Les niveaux que l'on a datés correspondent à ceux où la quantité de charbons extraits permettait la mesure. L'humine a été extraite par la méthode décrite par Pessenda *et al.* (sous presse). Il s'agit de la fraction non extractible de la matière organique par les solutions diluées de réactifs, pyrophosphate de sodium ou soude (Duchaufour et Souchier, 1977) et qui ne se dégrade que très lentement dans le sol. Les datations ont été effectuées par la méthode du  $^{14}\text{C}$  (benzène et scintillation liquide – Pessenda et Camargo, 1991), au Laboratoire du Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA).

### III. RÉSULTATS

#### Age des charbons

La tranche d'âge explorée, qui correspond à une épaisseur de sol de 2 m, est inférieure à 9 000 ans BP et concerne donc seulement l'Holocène. Le tableau I et la figure montrent la régularité de la croissance de l'âge des charbons en fonction de la profondeur, ainsi que la remarquable similitude de cette croissance au long de la moitié supérieure du versant.

#### Age de l'humine

L'âge de l'humine a été déterminé principalement sur le profil de mi-pente et deux mesures ont été faites sur le profil sommital. On constate (tableau 1) que l'âge de l'humine est identique ou très proche de celui des charbons jusqu'à 1 m de profondeur. A 1,5 m de profondeur, l'écart est plus important, mais reste inférieur à 10 % de l'âge des charbons. A 2 m de profondeur, l'écart se creuse et atteint 20 %. Une seule mesure ayant été effectuée à 1,5 m et une à 2 m de profondeur, ces résultats devront être confirmés par d'autres datations, dans d'autres sols.

### IV. INTERPRÉTATIONS

Les charbons enfouis dans le sol sont attribués à des incendies accidentels de la végétation, qui peuvent être le fait de l'activité humaine, mais aussi être dus à des causes naturelles (foudre). La source de ces charbons devrait donc être constituée par les parties aériennes de la végétation, mais aussi par les racines qui, lors des incendies, peuvent se consumer jusqu'à une profondeur de plusieurs dizaines de centimètres (Miklos, 1992; Leprun, communication orale, 1993). La carbonisation à température ambiante des racines mortes pourrait aussi être invoquée, mais elle n'est possible qu'en milieu réducteur, ce qui n'est pas le cas des sols très bien drainés étudiés ici.

L'intérêt paléoclimatique des charbons enfouis a été décelé pour la première fois par Soubiès (1980), qui a observé, entre Santarem et Cuiabá (Amazonie brésilienne), des

**Tableau I** Ages radiométriques des charbons et de l'humine.  $\Delta$  : Écart entre l'âge de l'humine et celui des charbons. V : Évaluation de la vitesse d'accumulation superficielle de matière par la faune, calculée à partir de l'âge des charbons les plus profonds de chaque profil.

Charcoal and humin radiometric ages. Difference between humin and charcoal age. V: Evaluation of the rate of superficial accumulation of soil matter from the age of deeper charcoals of each profile.

Profondeur (cm)	Sommet		Quart supérieur	Mi-pente	
	Charbon	Humine	Charbon	Charbon	Humine
0-10 .....	160 ± 60	100 ± 60	160 ± 60	160 ± 75	240 ± 70
		$0 \leq \Delta \leq 60$			$0 \leq \Delta \leq 225$ ans
40-50 .....	1 720 ± 60		1 620 ± 60		
80-90 .....	3 350 ± 60	3 070 ± 70	3 650 ± 70		
		$150 \leq \Delta \leq 410$			
90-100 .....				3 810 ± 80	3 700 ± 80
					$0 \leq \Delta \leq 270$
100-110 ...				4 040 ± 70	
130-140 ...				5 320 ± 70	
150-160 ...	5 840 ± 80		7 500 ± 80	5 930 ± 100	5 550 ± 80
					$200 \leq \Delta \leq 560$
160-170 ...	6 010 ± 70		7 850 ± 100		
170-180 ...	5 890 ± 70				
190-200 ...	8 490 ± 90			8 790 ± 100	6 940 ± 80
					$1 570 \leq \Delta \leq 2 030$
V(mm/an) ..	0,23		0,21	0,22	

accumulations de charbons entre 50 et 100 cm de profondeur. Cet auteur a montré que ces charbons résultent d'incendies qu'il attribue à une période sèche se situant entre 3 000 et 6 000 ans BP.

Le problème qui nous intéresse dans cette Note est surtout celui du mécanisme de l'enfouissement des charbons. C'est généralement le colluvionnement qui est invoqué, et c'est justement pour tester cette hypothèse que nous avons étudié trois profils, dont un, en sommet d'interfluve, qui, s'il peut constituer une source de colluvions, ne peut en aucun cas en recevoir. En effet, dans l'hypothèse d'un enfouissement des charbons par des colluvions, nous ne devrions trouver comme charbons enfouis, en sommet d'interfluve, que ceux issus de la combustion lente des racines. On peut également faire intervenir les remaniements dus à la chute des arbres (chablis), mais ceux-ci ne pourraient que provoquer un mélange aléatoire des charbons et non leur classement par âge croissant avec la profondeur. La remarquable similitude entre les variations de l'âge des charbons avec la profondeur au long de la moitié supérieure

du versant, montre que leur enfouissement ne peut être expliqué que par leur recouvrement par de la matière remontée de la profondeur, qu'il s'agisse de charbons formés en surface ou de racines calcinées et alors déjà enfouies (ceci peut expliquer par exemple que les charbons prélevés en haut de pente, entre 1,9 et 1,8 m de profondeur, soient plus jeunes que ceux prélevés 10 cm au-dessus). Le seul agent connu susceptible de remonter ainsi de la matière solide est la faune, dont les espèces les plus visibles sont les termites et les fourmis. Les datations effectuées nous offrent dès lors la possibilité d'évaluer la vitesse de cette accumulation superficielle de matière par l'activité faunique. Par un calcul basé sur l'âge des charbons les plus profonds (1,95 m en haut et mi-pente, 1,65 m en quart supérieur), nous obtenons des nombres très voisins, qui varient de 0,21 à 0,23 mm par an (tableau I).

Miklos (1992), avec un itinéraire différent, a déjà montré que l'enfouissement des charbons ne pouvait être dû, dans le cas qu'il analyse, qu'à des remaniements biologiques verticaux. Étudiant à Botucatu (Brésil) une

**Tableau II** Teneurs en carbone du sol de pente. Dosage par voie sèche (carbograph).

Carbon content in the middle slope profile. Determination by dry combustion.

Profondeur (cm)	C (%)
0-10.....	6,67
50-60.....	2,81
100-110.....	2,51
140-150.....	2,17
190-200.....	1,53
250-260.....	1,13
300-310.....	0,13
350-360.....	0,1
400-410.....	0,56
450-460.....	0,68
500-510.....	0,17
600-610.....	0,17
700-710.....	0,12
800-810.....	0,16

couverture pédologique dont l'amont est situé sur grès et l'aval sur basalte, et qui comporte des horizons foncés, riches en carbone et en charbons, vers un à deux mètres de profondeur, cet auteur a montré que la signature de la roche mère (abondance et nature des minéraux opaques, nature des microlithoreliques) se maintient verticalement à travers ces horizons foncés jusqu'en surface. Ceci exclut le colluvionnement, qui aurait apporté, au-dessus des matériaux issus de basalte, des matériaux issus des grès de l'amont, effaçant ainsi cette signature. Ne disposant que d'un petit nombre d'analyses  $^{14}\text{C}$ , l'auteur a daté globalement les charbons des horizons foncés, ce qui ne permet pas un calcul précis de la vitesse de l'accumulation superficielle d'origine biologique. Toutefois, si l'on fait ce calcul, on obtient des valeurs variant de 0,21 à 0,34 mm par an, valeurs peu différentes de celles obtenues à Salitre.

Si nous reprenons les données de Oslisly et Deschamps (1994), qui ont observé, en forêt gabonaise, des pivots calcinés de 1500 ans BP enfouis à 30-40 cm de profondeur, et attribuons cet enfouissement à la remontée biologique, nous obtenons une vitesse de 0,23 mm/an, la même valeur qu'à Salitre.

On note que ces évaluations concernent la remontée biologique, érosion déduite, c'est-à-dire l'accumulation superficielle de matière qui n'a pas été entraînée par le ruissellement. Il n'est donc plus nécessaire d'évaluer les départs par érosion, comme dans les estimations basées sur la mesure directe de la masse des remontées se déposant en surface. Les valeurs obtenues à Salitre sont nettement supérieures à celles évaluées jusqu'à maintenant (*voir* introduction). Ceci est sans doute dû à ce que l'utilisation des charbons comme marqueurs de l'accumulation superficielle de matière par la faune permet un bilan qui tient compte de tous les agents y participant et inclut les remontées qui n'atteignent pas la surface.

On constate alors que les charbons descendent par rapport à la surface topographique par suite de cette remontée permanente de matériau fin en surface, à une vitesse de l'ordre de 2 m pour 9000 ans à Salitre, à Botucatu et, peut-être au Gabon. Il importe alors de remarquer qu'il en est de même pour tous les éléments grossiers que la mésofaune du sol ne peut transporter. Ainsi, selon Lee et Wood (1971), la limite supérieure de taille des éléments remontés par les termites est de 3 mm. Ceci implique que les éléments grossiers s'accumulent à la base de la zone de prélèvement de la mésofaune, qui, à Salitre, reste à localiser. Nous avons là toutefois un mécanisme de descente des éléments grossiers dans le sol, déjà invoqué par les auteurs ayant étudié ce phénomène et, entre autres, Lee et Wood (1971), Lévêque (1975), Eschenbrenner (1987), Miklos (1992), mais dont, cette fois, à Salitre, la vitesse est évaluée. Ce mécanisme peut être, en particulier, à l'origine de certaines « stone lines » (Moeyersons, 1989).

La mesure de l'âge de l'humine, élément le plus stable de la matière organique du sol, montre que celle-ci est sensiblement contemporaine des charbons enfouis jusqu'à une profondeur de 1 m, et peu différente jusqu'à 1,5 m. Au-delà, son âge apparent diminue par rapport à celui des charbons. Ce rajeunissement peut être dû à un apport de carbone récent, conséquence d'une minéralisation partielle de cette humine, comme on l'ob-

serve dans les tourbes fossiles (Filizola et Boulet, 1993).

S'il ne semble pas exister d'autre hypothèse explicative que la remontée biologique de matière à l'enfouissement régulier et uniforme des charbons et de l'humine formés dans la partie supérieure du sol, au long de la moitié supérieure du versant étudié, la question se pose de l'origine de ces matériaux. La couleur rouge vif des remplissages biologiques observés dans les deux premiers mètres du sol, couleur que l'on ne rencontre qu'à plus de 4,7 m sous la surface, montre que les agents qui mettent en place ces remplissages prélèvent leurs matériaux à une profondeur supérieure à cette valeur, sans doute à la recherche d'eau, la nappe phréatique étant profonde, à ce niveau de la couverture pédologique. Ce sont donc des matériaux très pauvres en carbone (voir tableau II) qui sont ainsi remontés dans la partie supérieure du sol et qui, de ce fait, modifient peu la composition isotopique de l'humine enfouie. On constate, dans les résultats du tableau II, une augmentation nette du carbone entre 400 et 460 cm, ce qui pourrait être dû à la présence de charbons.

Ces résultats n'excluent pas cependant que le colluvionnement puisse, ailleurs, intervenir dans l'enfouissement des charbons. Il

est des cas où ce processus est évident, comme à Bananal (SP) Brésil (Moura et Meis, 1986).

## CONCLUSIONS

Les datations réalisées ici ont été faites pour un sol ferrallitique, appelé latosol au Brésil. Dans ces sols, l'activité de la mésofaune est intense et contribue en particulier à l'acquisition de leur structure fortement microagrégée (Eschenbrenner, 1988; Miklos, 1992). Les vitesses, que l'on a ainsi mesurées, de l'accumulation superficielle de matière due à la faune, correspondent donc probablement à des vitesses maxima. Il est vraisemblable que dans d'autres types de couverture pédologique, à activité biologique moindre, ces vitesses sont plus faibles. Il s'ouvre là tout un champ de recherche où, en l'absence de charbons, la datation de l'humine, si elle se confirme comme un marqueur fiable de cette accumulation, constituera un moyen d'exploration très précieux.

Quoi qu'il en soit, les valeurs élevées de la vitesse de l'accumulation superficielle de matière due à la faune obtenues à Salitre montrent que l'on doit considérer celle-ci comme un mécanisme essentiel de la pédogenèse.

Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet thématique FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, Brésil) n° 91/3518-0 et a bénéficié de l'aide du Projet ECOFIT (ORSTOM).

DARWIN, C., 1881. *Earthworms and vegetable mould*, Murray, Londres, 1881 et Faber et Faber, 1945.

DUCHAUFOUR, Ph. et SOUCHIER, B., 1977. *Pédologie*, Masson, Paris, 477 p.

ESCHENBRENNER, V., 1987. Les glaebules de Côte d'Ivoire. *Thèse Sc.*, Univ. de Bourgogne, Dijon, 1 : 498, 2 : 282 p.

FILIZOLA, H. F. et BOULET, R., 1993. Une évaluation de la vitesse de l'érosion géochimique à partir de l'étude de dépressions fermées sur roches sédimentaires quartzo-kaoliniques, *C.R. Acad. Sci. Paris*, 316, série II, p. 693-700.

LAVELLE, P., 1983. *The soil fauna of tropical savannas*, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, The Netherlands, p. 485-504.

LEE, K. E. et WOOD, T. G., 1971. *Termites and soils*, Academic Press, London, New York, 251 p.

LEVEQUE, A., 1975. Pédogenèse sur le socle granito-gneissique du Togo. Différenciation des sols

et remaniements superficiels. *Thèse Sci.*, Univ. Louis Pasteur, Strasbourg, 301 p., déposée à la Soc. géol. France.

MIKLOS, A. A. W., 1992. Biodynamique d'une couverture pédologique dans la région de Botucatu (Brésil, SP), *Thèse*, Univ. de Paris-VI, 247 p.

MODENESI, M. C., 1988. *Significado dos depositos correlativos quaternarios em Campos de Jordan, São Paulo: Implicações paleoclimáticas e paleoecológicas*, São Paulo, Instituto Geológico, Boletim n° 7, 155 p.

MOYERSONS, J., 1989. The concentration of stones into a stone-line, as a result from subsurface movements in fine and loose soils in the tropics. Stone-lines, *Journées d'Études*, Bruxelles, 24 mars 1987, Acad. Royales des Sciences d'Outre Mer, Geo-Eco-Trop, 11, p. 11-22.

OLIVEIRA, J. B., MENK, J. F. R. et ROTTA, C. L., 1985. Solos do Parque estadual de Campos de

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Jordão. Silvicultura em São Paulo, *Revista do Instituto Florestal*, 9, p. 125-155.
- OSLISLY, R. et DECHAMPS, R., 1994. Découverte d'une zone d'incendie dans la forêt ombrophile du Gabon ca 1 500 BP. Essai d'explication anthropique et implications paléoclimatiques, *C.R. Acad. Sci. Paris*, 318, série II, p. 555-560.
- PESSENDA, L. C. R. et CAMARGO, P. B., 1991. Datação radiocarbonica de amostras de interesse arqueologico e geologico por espectrometria de cintilação líquide de baixo nivel de radiações de fundo, *Química nova*, 14, (2), p. 98-103.
- PESSENDA, L. C. R., ARAVENA, R., MELFI, A. J., TELLES, E. C. C., BOULET, R., VALENCIA, E. P. E. et TOMAZELLO, M., sous presse. Carbon isotopes ( $^{13}\text{C}$ ,  $^{14}\text{C}$ ) in soil to evaluate vegetation change during the holocene in Central Brazil, *Radiocarbon*.
- DA SILVA DE MOURA, J. R. et MOUSINHO DE MEIS, M.<sup>sr</sup>, 1986. Contribuição à estratigrafia do Quaternário superior no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul. Bananal, SP, *An. Acad. Brasil. Ciênc.*, 58, (1), p. 89-102.
- SOUBIES, F., 1980. Existence d'une phase sèche en Amazonie brésilienne datée par la présence de charbons dans les sols (6 000-3 000 ans BP), *Cah. ORSTOM sér. Géol.*, XI, n° 1, 1979-80, p. 133-148.
- TARDY, Y., 1993. Climats, paléoclimats et biogéodynamique du paysage tropical. In *Sédimentologie et Géochimie de la surface*, colloque à la mémoire de Georges Millot, Acad. des Sciences, p. 141-175.