

# Essai de détermination du temps de résidence des fractions humiques de deux sols ferrallitiques par l'utilisation du radiocarbone naturel et thermonucléaire

P.F.S. LOBO\*, J.M. FLEXOR,\*  
J.L. RAPAIRE\*\*, G. SIEFFERMANN\*\*\*

\* Instituto de Física da Universidade Fed. da Bahia, L.G.N.

\*\* Centre Scientifique de Monaco. Principauté de Monaco.

\*\*\* Pédologue de l'ORSTOM S.S.C. de l'ORSTOM,  
9314 Bondy, France.

## RÉSUMÉ

L'étude concerne deux profils de sols ferrallitiques de l'état de Bahia (Brésil). Les rapports isotopiques  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  d'environ quinze échantillons ont été déterminés pour les fractions fulviques, humiques et les humines extraites d'après la méthode Dabin.

Les résultats ont été interprétés selon un modèle mathématique préalablement établi, ils montrent :

— que le temps moyen de résidence des acides fulviques, acides humiques et humines est d'une centaine d'années ;

— que plus de 90 % du carbone minéralisé provient des horizons supérieurs de moins de 30 à 60 cm de profondeur ;

— que de toutes les fractions étudiées l'humine montre, en surface, les temps de résidence les plus courts ; et en profondeur au contraire, les temps de résidence les plus longs.

Un essai de détermination de la vitesse de migration des acides fulviques et humiques est tenté.

---

Ce texte a été présenté le 12 septembre 1972, en langue portugaise au 48<sup>e</sup> Congrès Latino-américain de la Science du Sol à Maracay (Vénézuéla).

Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XII, n° 1, 1974 : 115-123.

## ZUSAMMENFASSUNG

Die Studie betrifft zwei ferrallitische Waldböden des Bundesstaates Bahia in Brasilien. Es wurden die klassischen Huminstoffkategorien nach Dabin's Technik aus den verschiedenen Horizonten extrahiert, und ihre  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  werte gemessen.

Die gemessenen Aktivitäten der verschiedenen Humusfraktionen wurden durch ein mathematisches Modell und einigen Vereinfachungshypothesen ausgearbeitet. Die hauptsächlichsten Resultate sind folgende:

— Die mittlere Verweilzeit der Fulvo, Humusäuren und Humine ist ungefähr von hundert Jahren.

— Mehr als 90 % der Bodenkohlensäure kommt von der Zersetzung der Humussubstanzen aus weniger als 60 cm Tief her.

— In der obersten Bodenschicht hat immer die Huminfraktion die kürzeste Verweilzeit, und im Gegenteil in den tieferen Horizonten immer die längste Verweilzeit.

Es wird zum Schluss ein bestimmungsversuch der Migrationsgeschwindigkeit der verschiedenen Fraktionen getan.

## ABSTRACT

*This study concerns two profiles of ferallitic soils from the state of Bahia (Brazil). The isotopic relations  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  of about fifteen samples have been determined for the fulvic and humic fractions and humin extracts, according to the method of Dabin.*

*The results have been interpreted according to a mathematic model formerly formulated. They show the following conclusions :*

— *The average time of residence for fulvic acids, humic acids and humins is about one hundred years.*

— *More than 90 % of the mineralized carbon comes from superior horizons which are less than 30 to 60 cm deep.*

— *From all the fractions studied, the humin shows, on the surface, the shortest times of residence. On the contrary, underneath the times of residence are the longest.*

*It is attempted to determine the migration speed of the fulvic and humic acids.*

## РЕЗЮМЕ

*Исследовались два профиля ферраллитных почв штата Баия (Бразилия). Изотопические отношения  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  примерно пятнадцати проб были определены для фракций фульвокислот, гуминовых кислот и гуминов, выделенных по методу Дабена.*

*Результаты были интерпретированы согласно предварительно определенной математической модели; они показывают:*

— *что среднее время пребывания фульвокислот, гуминовых кислот и гуминов равняется сотням лет;*

— *что более 90% минерализованного углерода происходит из верхних горизонтов, не достигающих до 30-60 см глубины;*

— *что из всех исследованных фракций, гуминовая имеет, на поверхности, самые короткие сроки пребывания, а на глубоких уровнях, наоборот, самые длинные.*

*Сделана попытка определения скорости миграции фульвокислот и гуминовых кислот.*

*Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XII, n° 1, 1974 : 115-123.*

## INTRODUCTION

L'augmentation régulière de l'injection dans l'atmosphère de  $\text{CO}_2$  par la combustion de carbone fossile et plus récemment l'introduction de  $^{14}\text{C}$  d'origine thermonucléaire a rendu possible l'utilisation de modèles mathématiques (BROECKER, 1960 - NYDAL, 1968) pour une meilleure connaissance du cycle du carbone dans la nature.

L'étude des sols des zones forestières tropicales qui représentent près de 40 % de la biosphère terrestre active nous conduit à la détermination du temps de résidence du carbone stocké sous forme de matière organique dans les divers horizons des sols et nous permet de préciser ces modèles.

L'évolution des différentes fractions organiques dans les sols, leur polymérisation et dépolymérisation, le rôle des microorganismes ont été largement abordés par les méthodes classiques de la pédologie. L'utilisation du  $^{14}\text{C}$  d'origine cosmogénique et thermonucléaire, en tant que traceur à l'échelle mondiale, peut contribuer à une meilleure connaissance de ces phénomènes.

## 2. LA MATIÈRE ORGANIQUE DES SOLS

L'assimilation du  $\text{CO}_2$  atmosphérique par la photosynthèse est la source première de la matière organique des sols. Les débris végétaux constituent plus de 90 % de la litière organique des sols, le reste est d'origine animale. Les microorganismes sont les agents de la minéralisation de cette litière. Une partie des constituants organiques est transformée en substances plus ou moins polymérisées qui forment avec la microflore et la microfaune l'humus des sols.

Le traitement par des réactifs alcalins permet de séparer l'humus en diverses fractions :

— Les acides fulviques (AF), sont les produits solubles de cette extraction, non précipitables par les acides.

— Les acides humiques (AH), sont les produits solubles précipitables par les acides.

— L'humine (H) constitue le résidu.

Le pourcentage relatif des diverses fractions humiques dans un sol dépend du réactif d'extraction (FLAIG, 1970) ; leur définition est par conséquent

imprécise. Il est possible que deux molécules d'humus identiques n'existent pas (DUBACH, MEHTA, 1963).

Un autre problème est celui de la néoformation de composés humiques pendant l'extraction à partir des microorganismes et de la matière organique fraîche des sols. L'importance de ces néoformations

dépend de la méthode d'extraction et de l'efficacité du prétraitement.

Dans ce travail nous avons utilisé la méthode d'extraction de Dabin (DABIN, 1971) qui semble une des mieux adaptées aux sols tropicaux ; elle est schématiquement représentée en figure 1.

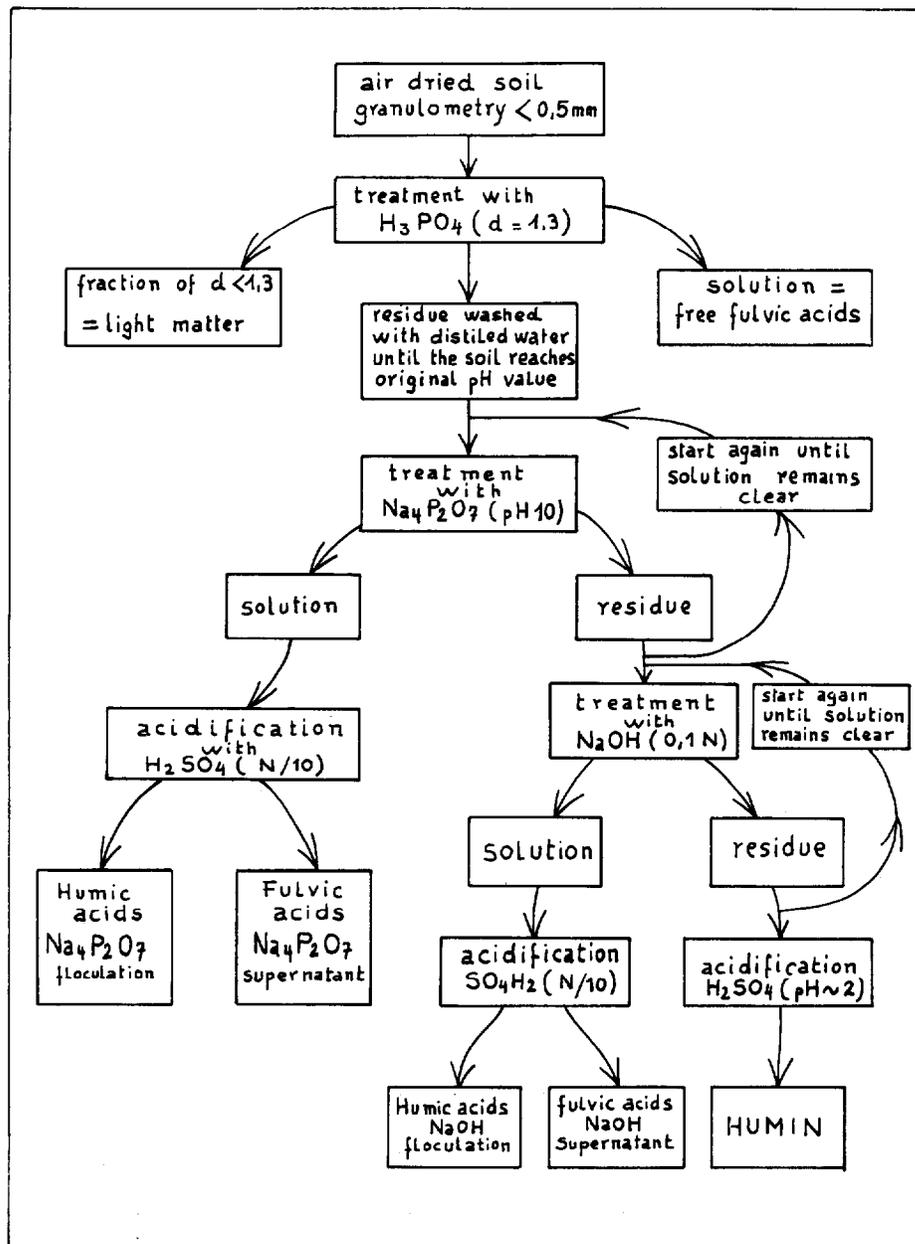


FIG. 1. — Méthode d'extraction Dabin.

### 3. DESCRIPTION PÉDOLOGIQUE DES SOLS FERRALLITIQUES FORESTIERS ÉTUDIÉS

#### Sol d'Ondina

Le sol d'Ondina est situé près de Salvador (12°58'09" S - 38°31'11" W) à l'altitude de 10 m au pied d'une colline et évolue sous des conditions de climat tropical humide (T = 26 °C, P = 1 800 mm/an). La roche-mère est une granodiorite.

Le profil d'Ondina a été étudié jusqu'à la profondeur d'un mètre; ses caractéristiques sont les suivantes :

— couleur brun-rouge (7,5 YR 5/4) assez homogène tout au long du profil.

— Les taux de matière organique, déterminés par la méthode Anne (ANNE, 1945) sont de 5, 4 et 2 % respectivement à 5, 15 et 45 cm de profondeur.

— La texture est argilo-sableuse, avec 20 % d'argile en surface, puis devient argileuse, avec 42 % d'argile à partir de 26 cm de profondeur.

— de haut en bas, la structure passe progressive-ment de grumeleuse à polyédrique; le pH de 6,2 à 6,1 et la porosité de bonne à moyenne.

— La capacité d'échange est de 14, 12 et 11 mé% respectivement dans les horizons 0-5, 5-15 et 15-45 cm. La somme des bases échangeables est dans les mêmes horizons de 11,3, 6,5 et 4,6 mé% ; il en résulte un taux de saturation respectif de 80, 63 et 43 %.

Les résultats obtenus à l'aide des rayons X (fig. 2) montrent que la fraction argileuse est constituée uniformément de kaolinite désordonnée selon l'axe b,

de quartz, de goethite et d'un peu de gibbsite, avec des traces d'hématite, d'illite et d'argiles gonflantes.

De l'étude d'autres profils semblables on peut dire qu'il s'agit de la partie supérieure d'un profil de type A (B) C, avec un horizon A humifère, un horizon (B) structural et un horizon C d'altération de la roche-mère.

#### Sol de Santo-Amaro

Le sol de Santo-Amaro est situé sur le plateau de Camaçari près de la plantation d'Opalma (12°36' S - 38°57' W) à l'altitude de 200 m. Il évolue sous un climat tropical humide (T = 28 °C, P = 1 730 mm/an) sur des matériaux de transport dont l'épaisseur dépasse 10 m.

En surface du sol s'observe une litière de 3 cm de feuilles en voie de décomposition suivie d'une couche de 2 à 3 cm d'épaisseur constituée de racines et de radicelles traçantes. L'activité des vers de terre est intense et on note de nombreuses termitières arboricoles.

Le profil prélevé jusqu'à 1 m de profondeur nous montre les caractéristiques suivantes :

— Une couleur qui passe de haut en bas du gris sombre au gris clair (7,5 YR 5/2-4/2).

— Une teneur en matière organique élevée qui décroît de haut en bas : 6 % en surface, 3 % à 40 cm de profondeur, et 1,5 % à 80 cm. Le C/N de 11 en en surface, passe à 13 vers 30 cm, puis retombe à 11 vers 80 cm de profondeur.

— Une texture sablo-argileuse en surface et argilo-sableuse en profondeur, sans élément supérieur à 5 mm.

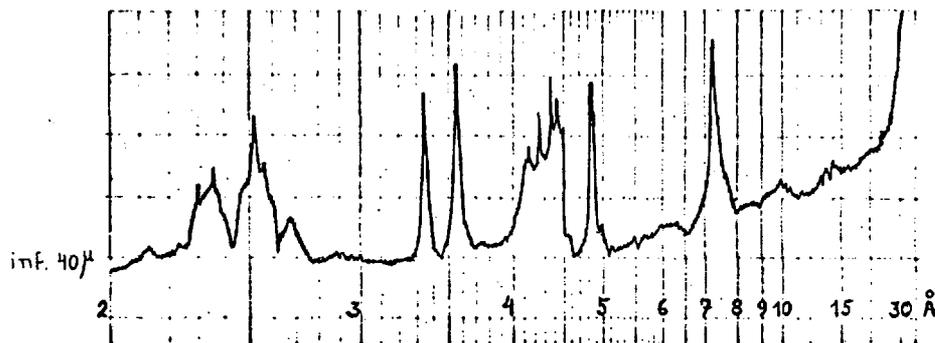


FIG. 2. — Diffractogramme de poudre de l'horizon 0-45 cm du sol d'Ondina.

— Un pH de 4 en surface qui passe à 5 vers 1 m de profondeur.

— La capacité d'échange passe de 19 mé % en surface à 7,5 mé % vers 1 m ; et la somme des bases échangeables de 1,4 à 0,5 mé %.

Dans divers profils les différents horizons ont été étudiés par diffraction des rayons X, aussi bien en poudre désorientée qu'en dépôt orienté. Les résultats obtenus ne varient pratiquement pas, ni d'un profil à l'autre, ni dans un profil de haut en bas : on observe de la kaolinite désordonnée selon l'axe b, du quartz, un peu de goethite et des traces d'illites plus ou moins dégradées (fig. 3). La composition minéralogique de ces profils est donnée par Luz Conceição (1971).

#### 4. INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS - MODÈLES MATHÉMATIQUES

En figure 4 sont représentés les teneurs en carbone et l'activité spécifique  $^{14}\text{C}$  des diverses fractions de deux horizons des deux profils. Les fractionnements ont été faits selon la méthode Dabin (fig. 1).

Les taux de radiocarbone peuvent être interprétés de plusieurs manières (HERRERA 1971, NAKHLA 1968, GEYH *et al.* 1971). Nous pouvons :

— Donner un âge  $^{14}\text{C}$  d'après la définition la plus classique ; par exemple l'humine de l'horizon 15-45 cm

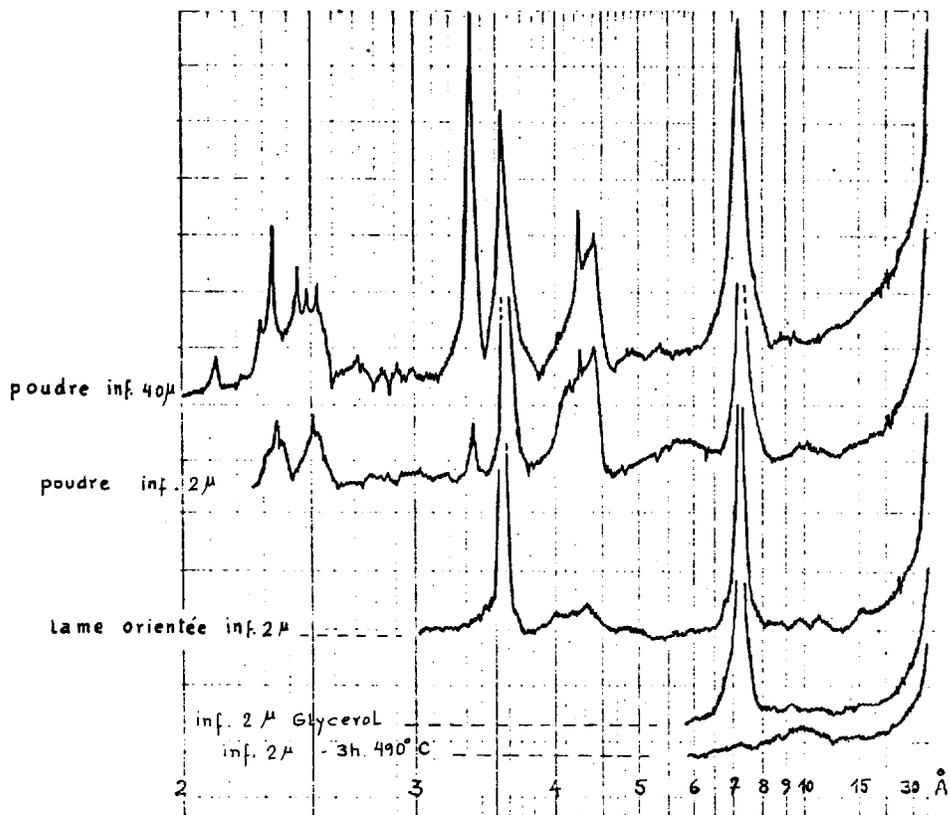


FIG. 3. — Diffractogrammes de rayons X de l'horizon 30-45 cm du sol de Santo-Amaro.

Sol	Hor. cm		Acides fulviques H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	Acides humiques Na <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub> + NaOH	Acides fulviques Na <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub> + NaOH	Humine
Ondina	0-5	(1)	85 ± 5	305 ± 15	260 ± 15	1 060 ± 50
		(2)	+15 ± 1	+25 ± 1	+11 ± 1	+36 ± 1
	15-45	(1)	860 ± 45	780 ± 40	1 830 ± 90	1 600 ± 80
		(2)	-3 ± 1	-3 ± 1		-29 ± 1
Santo Amaro	0-10	(1)	770 ± 40	1 750 ± 85	285 ± 15	1 900 ± 95
		(2)	+8 ± 1	+9 ± 1		+16 ± 1
	70-1 000	(1)	546 ± 25	590 ± 30	590 ± 30	1 600 ± 80
		(2)	-42 ± 1	-31 ± 1		-40 ± 1

(1) C = 9 m<sup>-2</sup>      (2) δ <sup>14</sup>C ‰.

FIG. 4. — Poids de carbone et activité spécifique des diverses fractions organiques des deux sols étudiés.

du sol d'Ondina (δ <sup>14</sup>C ‰ = -29) aurait un âge de 2 750 ans.

— Appliquer la même interprétation à l'horizon de surface marqué par le <sup>14</sup>C d'origine thermique. Ainsi, l'humine de l'horizon 0-5 cm du même sol (δ <sup>14</sup>C ‰ = +36) aurait 8 ans parce qu'en 1963 le carbone atmosphérique avait la même activité au même lieu.

— Définir un âge moyen qui serait la moyenne arithmétique des valeurs obtenues dans la partie supérieure et inférieure du profil. Par exemple l'humine de l'horizon 0-45 cm du sol d'Ondina aurait un âge moyen de 1 380 ans.

— Définir un âge moyen pondéré, en tenant compte du taux de carbone de chaque horizon ; de cette manière l'humine du même horizon du même sol aurait un âge moyen de 1 660 ans.

Nous préférons, comme le fit Nikiforoff en 1954 (NIKIFOROFF, 1959) considérer que le taux d'une fraction organique est constant dans un horizon de sol donné, avec des quantités égales formées et décomposées par unité de temps. Cet état d'équilibre serait atteint entre 10<sup>3</sup> et 10<sup>6</sup> ans selon l'équation 1 - e<sup>-λt</sup> (YAALON 1971). Cependant cette équation n'est qu'approximative car on sait que des sols jeunes (SIEFFERMANN, 1969) évoluant sous les mêmes conditions de climat et de lieu, sur les mêmes roches, peuvent présenter des taux de matière organique presque double de celui de sols plus anciens. Nous savons par ailleurs que l'état d'équilibre peut être rompu de

diverses manières, par le feu, par les variations climatiques et bien d'autres.

Néanmoins, un modèle mathématique donnant le temps de résidence d'une fraction organique d'un horizon donné peut être établi (LOBO, 1972).

Soit Q et F, respectivement les quantités de carbone présent dans le sol et susceptible d'y entrer ; « a » le pourcentage de F susceptible d'entrer par unité de temps et « b » le pourcentage de Q qui quitte le sol dans la même unité de temps. Dans ces conditions :

$$\frac{dQ}{dt} = aF - bQ \quad (I)$$

Le même raisonnement peut être tenu pour les atomes de <sup>14</sup>C :

$$\frac{dQ}{dt} = aF - (b + \lambda)Q \quad (II)$$

λ représente la constante de désintégration du <sup>14</sup>C, soit :  $\frac{0,693}{5\,568}$ .

A partir des équations (I) et (II) nous pouvons écrire :

$$\frac{Q}{Q} = Q^* \quad \text{et} \quad \frac{F}{F} = F^*$$

où apparaissent les activités spécifiques ; et, dans l'hypothèse du sol à l'équilibre, c'est-à-dire dans le cas où :

$$\frac{dQ}{dt} = 0$$

l'équation devient :

$$\frac{dQ^*}{dt} = bF^* - (b + \lambda)Q^* \quad (III)$$

Avant 1954, début des effets mesurables des expériences thermonucléaires on avait :

$$\frac{dQ^*}{dt} = 0$$

et

$$\frac{1}{b} = \frac{1}{\lambda} \left( \frac{F_0^*}{Q_0^*} - 1 \right) \quad (IV)$$

Après 1954 :

$$\frac{dQ^*}{dt} \neq 0$$

et l'intégration de l'équation (III) nous donne

$$Q_T^* = b \int_0^T F_t^* e^{-(b+\lambda)(T-t)} dt \quad (V)$$

Ceci peut être résolu numériquement sous la forme

$$Q_T^* = Q_0^* e^{-(b+\lambda)(T-T_0)} + b \sum_{n=1}^{n=T-T_0} F_{(T_0+n)}^* e^{-(b+\lambda)(T-T_0-n)} \quad (VI)$$

avec  $n = 0$  en 1954, année  $T_0$  de référence ;  $Q_0$  et  $F_0$  étant des constantes et  $T > T_0$ .

$b$  exprimé en unité  $T^{-1}$  est l'inverse du temps de résidence du carbone dans le sol ;  $b$  est indépendant de l'activité spécifique et peut ainsi satisfaire simultanément les équations IV et VI. On a alors  $b = q/Q$  où  $q$  est la quantité de matière organique entrant ou sortant annuellement du sol.

Les équations peuvent être généralisées. Soit par exemple  $Q_T^*$  l'activité spécifique de l'humine en l'année  $T$

d'un niveau donné  $H_x$ . Celle  $F_t^*$ , qui entre chaque année dans ce niveau  $H_x$  peut provenir de diverses fractions et de divers niveaux ; la somme de ces diverses contributions  $a_{ij}$  est égale à 1. On a alors :

$$F_t^* = \sum Q_{ij}^* a_{ij}$$

Quelques hypothèses simplificatrices ont été faites afin de simplifier le modèle de manière à déterminer quelques paramètres à partir de ces mesures.

### 5. TEMPS DE RÉSIDENCE DE AF, AH, H DANS LA PARTIE SUPÉRIEURE DES SOLS

Nous supposons que :

— La partie supérieure des sols est rapidement homogénéisée (LOBO *et al.* 1972) par l'action biologique.

— Les diverses fractions sont directement et uniquement formées à partir de la litière.

— L'activité spécifique de la litière est la même que celle du  $CO_2$  atmosphérique du lieu de prélèvement de l'échantillon.

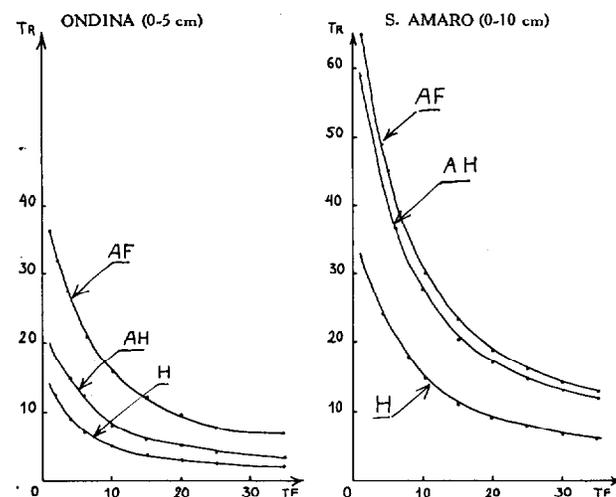


FIG. 5. — Temps de résidence des fractions fulviques, humiques et humines, en fonction du temps de formation à partir de la litière.

Dans ces conditions, pour une fraction donnée on a :

$$F_t^* = F_{(t-1)}^*(1-a) + A_t^* a$$

$A_t$  est l'activité spécifique de l'atmosphère l'année (t) estimée à partir de différents travaux (NYDAL 1968, NIKIFOROFF, 1959) ;

$F_{(t-1)}$  est celle de la litière l'année (t-1) ;

(a) est la probabilité de formation par unité de temps de la fraction considérée, autrement dit l'inverse du temps de décomposition de la litière.

La résolution simultanée des équations IV et VI montre que pour un même temps de décomposition de la litière, le temps de résidence des diverses fractions est toujours plus grand pour le sol de Saint-Amaro que pour celui d'Ondina (fig. 5).

## 6. ESTIMATION DE LA QUANTITÉ DE CO<sub>2</sub> PROVENANT DE LA MINÉRALISATION DE AF, AH ET H

Nous supposons que la matière organique qui pénètre dans un niveau donné :

— a été formée dans l'année à partir de la litière (polymérisation des composés solubles) ;

— s'est minéralisée dans son niveau de formation.

Dans ces conditions,  $F_t^* = A_t^*$

En extrapolant pour tout le profil le poids et l'activité spécifique des diverses fractions, nous pouvons calculer pour chacun leur temps de résidence dans les niveaux successifs d'épaisseur constante (LOBO, 1972).

En rappelant que  $T_r = \frac{Q}{q}$  et en sommant  $q$  nous voyons que plus de 90 % du carbone ainsi minéralisé provient des trente premiers cm du sol d'Ondina. Pour Saint-Amaro le même résultat est obtenu avec une épaisseur double. Les temps de résidence globaux pour le niveau 0-45 cm sont respectivement 30 et 115 ans.

## 7. ESTIMATION DE LA VITESSE MAXIMUM DE MIGRATION DE AF - AH - H DANS LES COUCHES SUPÉRIEURES

Nous supposons que la matière organique qui entre chaque année dans un niveau H provient de deux sources :

- le niveau immédiatement supérieur (H-1),
- la litière.

L'activité spécifique est alors donnée par :

$$F_H^* = aQ_{(H-1)}^* + (1-a)A^*$$

où (a) est le pourcentage entrant dans H par migration à partir de H-1.

Par ailleurs, l'activité biologique décroissant en profondeur, le temps de résidence ( $T_r$ ) de la matière organique dans les niveaux successifs du profil doit augmenter. A la limite on doit avoir :

$$T_{r(H-1)} = T_{r(H)}$$

ce qui correspond au pourcentage maximum de migration.

Nous voyons (couches 0-5 et 5-10 cm) que pour le sol de Saint-Amaro, les pourcentages pour AF et AH sont 2,5 fois plus grands que pour le sol d'Ondina plus sableux. L'humine semble avoir le même comportement. Les vitesses de migration sont du même ordre : 0,1 à 1 mm/an.

## 8. CONCLUSION

Tous les résultats donnés dépendent de la validité du modèle mathématique. Comme l'ont mentionné Dommergues et Mangenot (1970), même le plus sophistiqué des modèles mathématiques est approché, ceci étant du au grand nombre de paramètres que l'on doit négliger aux fins de résolution numérique.

Le modèle mathématique utilisé, malgré ses approximations, montre la nature différente des deux profils étudiés (temps de résidence - formation du  $\text{CO}_2$  à partir de la minéralisation de AF, AH, H - pourcentage de migration de ces fractions dans les couches supérieures).

Le  $^{14}\text{C}$  d'origine cosmogonique et thermonucléaire utilisé comme traceur de la matière organique des sols peut aussi être un complément utile aux techniques plus classiques utilisées en science des sols.

Manuscrit reçu au SCD le 20 février 1974.

#### BIBLIOGRAPHIE

- ANNE (P.), 1945. — Sur le dosage rapide du carbone organique des sols. *Ann. agron.*, n° 2 : 161-172.
- BROECKER (W.S.), OLSON (E.A.), 1960. — Radiocarbon from Nuclear Tests II. *Science* 132 : 712-721.
- CHUVAS NA BAHIA, 1962. — Ministerio da viação e obras Publicas 241, 1, G.B.
- DABIN (B.), 1971. — Etude d'une méthode d'extraction de la matière humique du sol. *Science du Sol*, n° 1 : 47-63.
- DOMMERMUES (Y.), MANGENOT (N.C.), 1970. — Ecologie microbienne du sol. Masson, Paris, 796 p.
- DUBACH (P.), METHA (N.C.), 1963. — The chemistry of Soil humic substances. *Soils and Fert.*, XXVI, 5 : 293-300.
- FLAIG (W.), 1970. — Contribution à la connaissance de la constitution et de la synthèse des acides humiques. *Science du Sol*, n° 2 : 39-72.
- FLEXOR (J.M.), LOBO (P.F.S.), RAPAIRE (J.L.), 1971. — Estudo da evolução da materia organica do solo, utilizando o carbono 14, produzido nos ensaios termonucleares atmosfericos. *Rev. Brasileira de Geociencias*, vol. 2, n° 4.
- GEYH (M.A.), BENZIER (J.H.), ROESCHMANN (G.), 1971. — Problems of Dating Pleistocene and Holocene Soils by Radiometric Methods. In: *Paleopedology: Origin, nature and dating of paleosols*. Ed. by D.H. Yaalon. International Society of Soil Science and Israel Universities Press, Jerusalem, pp. 63-75.
- HERRERA (R.), TAMERS (M.A.), 1971. — Radiocarbon Dating of Tropical Soil Associations in Venezuela. In: *Paleopedology: Origin, nature and dating of paleosols*. Ed. by D.H. Yaalon. International Society of Soil Science and Israel Universities Press, Jerusalem, pp. 109-115.
- LOBO (P.F.S.), 1972. — Tese de mestrado. Univers. Federal da Bahia.
- LOBO (P.F.S.), FLEXOR (J.M.), RAPAIRE (J.L.) et SIEFFERMANN (G.), 1972. — Contribuição ao estudo comportamento geofísico do carbono organico no perfil de um solo ferralítico, utilizando a tecnica do radiocarbono. XXIV° Congr. Soc. Bras. Progr. Ciencia, Sao-Paulo, 9 p.
- LOBO (P.F.S.), FLEXOR (J.M.), RAPAIRE (J.L.), SIEFFERMANN (G.). — Tentativa de avaliacao do remanejamento de origem biologica através de interface liteira - Horizonte Ao, num Solo Florestal da zona tropical umida : utilização do  $^{14}\text{C}$  de origem termonuclear. XXIV° Congr. Soc. Bras. Progr. Ciencia, Sao-Paulo, 9 p.
- LUZ CONCEICAO (T.), 1971. — Produits d'altération de quelques formations cristallines sédimentaires et d'une formation de transport du Reconcavo - Bahia. Rapport de D.E.A. Inst. Geol. Université Strasbourg.
- NAKHLA (S.M.), 1968. — Etude du comportement du carbone organique dans le sol et étude des podzols à l'aide du carbone 14. Thèse Fac. Sci. Paris, 48 p.
- NIKIFOROFF (C.C.), 1959. — Reappraisal of the Soil. *Science*, 129, 186-196.
- NYDAL (R.), 1968. — Increase in radiocarbon from the most recent series of thermonuclear tests. *Nature*, vol. 200, pp. 212-214.
- SIEFFERMANN (G.), 1973. — Les sols de quelques régions volcaniques du Cameroun. Variations pédologiques et minéralogiques du milieu Equatorial au milieu tropical. Thèse Fac. Sci. Strasbourg. *Mém. ORSTOM*, n° 66, Paris, 183 p.
- YAALON (D.H.), 1971. — Soil forming Process in Time and Space, In: *Paleopedology Origin, nature and dating of paleosols*. Ed. by D.H. Yaalon, International Society of Soil Science and Israel Universities Press, Jerusalem : 29-40.