

La dégradation des illites en montmorillonite dans l'altos de podzols tropicaux humo-ferrugineux du recôncavo bahianais et du Pará

J.M. FLEXOR ⁽¹⁾, J.J. de OLIVEIRA ⁽²⁾,
J.L. RAPAIRE ⁽³⁾ et G. SIEFFERMANN ⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Institut de Physique, U.F. Ba, L.G.N., Salvador (Ba)

⁽²⁾ Institut de Géosciences, dép. 01, U.F. Ba, Salvador (Ba)

⁽³⁾ Centre Scientifique de Monaco, Principauté de Monaco

⁽⁴⁾ S.S.C. de l'ORSTOM, 70-74, route d'Aulnay
(93140 BONDY)

RÉSUMÉ

A côté de podzols hydromorphes, on rencontre au Pará comme à Bahia, localement, d'épais podzols humo-ferrugineux, semblables aux podzols des régions froides. Ces sols, situés en position de bon drainage, sont caractérisés par un horizon A_2 éluvial très blanchi et par un horizon B subdivisé en un horizon d'accumulation humifère supérieur et un horizon d'accumulation de fer inférieur.

Des dosages Uranium-Thorium permettent d'affirmer que l'horizon A_2 est bien un horizon éluvial : il y a lessivage en Uranium et Thorium en A_2 et accumulation temporaire, par rapport au matériel parental, des deux éléments dans l'horizon d'accumulation humifère et ferrugineux.

Des datations isotopiques sur les divers horizons humifères permettent de conclure que des processus de podzolisation affectent ces sols depuis plus de 3 300 ans (B.P.).

Dans sa partie supérieure, l'horizon d'accumulation montre du haut vers le bas, successivement, 550, 1 750 et 3 300 ans B.P. et permet d'avancer que la podzolisation continue encore de nos jours.

Comme dans les podzols humi-ferrugineux des régions tempérées, la dégradation des micas conduit à la montmorillonite. On retrouve le mécanisme :
Micas et illites \rightarrow micas hydratés \rightarrow 10-14V \rightarrow Vermiculite \rightarrow 14V - 14M \rightarrow montmorillonite.

Ici le processus se fait en présence des substances organiques habituelles des sols ferrallitiques et sous des conditions climatiques de forte percolation. Le rôle de la matière organique dans cette dégradation n'est pas évident.

Les facteurs responsables du processus de podzolisation semblent :

(1) Une forte désaturation du milieu, liée à une pluviosité élevée.

(2) Un drainage excellent.

(3) Une teneur maximum en éléments inférieurs à 2 μ de l'ordre de 10 % dans le matériel parental.

Selon les auteurs, les podzols humo-ferrugineux décrits sont probablement d'anciens podzols de nappe placés dans des conditions de bon drainage par des phénomènes d'érosion ou des mouvements tectoniques.

ABSTRACT

The degradation of illites to montmorillonites in humo-ferruginous tropical podzols of Bahia and Pará. (Brasil)

In Brasil, in the Para and Bahia State, the alteration processes locally form thick typical humo-ferruginous podzols, similar to those of cold and temperate regions.

Morphologically, these soils, situated in a position of excellent drainage, are characterized by a highly bleached zone of eluviation (A_2 horizon) and by a B horizon which shows an upper humiferous and a lower ferruginous zone of accumulation.

The Uranium-Thorium results confirm that the A_2 horizon is a zone of eluviation; there is total leaching of Uranium and Thorium in the A_2 horizon, and a temporary concentration of these elements in the humiferous and ferruginous zones of accumulation.

^{14}C age determinations on the different humiferous horizons demonstrates that the processes of podzolisation which affects these soils were active for a period of over 3 000 years. The zone of accumulation show successively downwards ages of 550, 1 750 and 3 300 years which indicates that the processes persisted to the present.

As in the humo-ferruginous podzols of temperate regions, the degradation of micas leads to the formation of montmorillonite. Here, in a humid tropical environment, are again encountered the mechanism: Illites and micas \rightarrow hydrated micas \rightarrow (10-14)V \rightarrow Vermiculite \rightarrow (14V-14M) \rightarrow montmorillonite. Here, the fulvic and humic acids formed under tropical climate from a vegetation which does not appear to differ from that which covers the neighboring ferrallitic soils, would have an action similar to that of the fulvic and humic acids derived from coniferous vegetation.

If we attempt to determine the factors responsible for the podzolisation we encounter:

(1) A decrease in the pH, linked to a strong desaturation conditioned by a high rainfall.

(2) An excellent drainage.

(3) A maximum content near 10 % of elements inferior to two microns in the parent material.

The authors suggest that the studied podzols would be nothing more than ancient hydromorphic podzols placed into conditions of excellent drainage by tectonic movements. The mechanism once initiated could only continue to evolve.

RESUMO

« A degradação das illitas em montmorillonita nos solos de podzols tropicais humo-ferruginosos do Recôncavo Bahiano e do Pará ».

Ao lado de podzols hidromorfos encontram-se no Pará e na Bahia, localmente, espessos podzols humo-ferruginosos, semelhantes aos podzols de regiões frias. Estes solos situados em posição de excelente drenagem, são caracterizados por um horizonte A_2 eluvial muito embranquecido e por um horizonte B subdevidido em um horizonte de acumulação húmifera superior e um horizonte de acumulação ferruginosa inferior.

Dosagens urânio-tório, efetuadas por espectrometria-gama de baixo ruído de fundo, permitem afirmar que o horizonte A_2 é efetivamente eluvial: há lixiviação de urânio e tório em A_2 e acumulação temporária, com respeito ao material parental, dos dois elementos no horizonte de acumulação húmifera e ferruginosa. Datações pelo método do radiocarbono nos diversos horizontes húmiferos permitem concluir que processos de podzolização afetam estes solos há, no mínimo, 3 300 anos (B.P.).

O horizonte de acumulação mostra um gradiente na atividade específica $^{14}C/^{12}C$, da parte superior para baixo, de respectivamente, $\delta^{14}C(\text{‰}) = -10, -15$ e -34 , o que parece indicar que a podzolização continua atualmente.

Como nos podzols humo-ferruginosos das regiões temperadas, a degradação das micas conduz à montmorillonita. Reencontra-se o mecanismo: micas e illitas \rightarrow micas hidratadas \rightarrow 10-14V \rightarrow vermiculita \rightarrow 14V-14M \rightarrow montmorillonita; descrito em clima temperado por Millot, Lucas e Paquet (1965); Gjems (1967); Roos e Mortland (1966); Post e White (1967) e Kodama e Brydon (1968).

Aqui o processo é realizado na presença de substâncias húmicas habituais dos solos ferralíticos e sob condições climáticas de forte percolação; o papel desempenhado pela matéria orgânica não é evidente.

Os fatores responsáveis pelo processo de podzolização parecem ser:

(1) uma forte dessaturação do meio ligada a uma pluviosidade elevada;

(2) uma excelente drenagem e;

(3) um limiar superior no teor em elementos inferiores a 2μ , de cerca de 10 % no material parental.

Segundo os autores, os podzols humo-ferruginosos descritos seriam antigos podzols hidromorfos, colocados em posição de excelente drenagem por fenômenos de erosão ou movimentos tectônicos.

I. — INTRODUCTION

Non loin de São Roque, sur le littoral de la baie de Tous-les-Saints, se trouvent sur des sédiments gréseux, peu indurés, post-crétacés, des podzols humo-ferrugineux. Le climat est tropical humide de basse altitude. La pluviosité est de 2 800 mm, bien répartie sur toute l'année. La température moyenne annuelle est de 28 °C.

L'intérêt de ces sols résulte de leur position de drainage excellent et de leur proximité à la fois avec des sols franchement ferrallitiques sur les mêmes matériaux et avec des podzols à nappe semblables à ceux qui furent décrits au Brésil par Joachim (*in* Mohr et Van Baren 1954), Setzer (1949), Day (1959), Vieira et Oliveira (1962), Klinge (1958, 1967, 1969), Altenmuller et Klinge (1964) et en Guyane Française par Colmet-Daage (1953) et Turenne (1970). Ils peuvent morphologiquement être comparés aux podzols humo-ferrugineux à alios des régions tempérées. Ces sols doivent permettre de comparer l'évolution des minéraux argileux dans le processus de podzolisation en milieu tropical humide avec celui du milieu tempéré.

II. — DESCRIPTION DES PROFILS

Les deux profils qui ont été étudiés sont situés sur des produits de remaniement de grès Post-crétacés en position de drainage excellent.

La végétation ne semble pas différente de celle que portent les sols ferrallitiques typiques voisins.

Les deux profils présentent la succession d'horizons :

A₀, A₁, A₂, Bh, B(h-Fe), C

A₀ — L'horizon A₀ formé de débris de matière végétale est très mince ou absent.

A₁ — L'horizon A₁, de 80 cm à 1 m d'épaisseur est gris-beige, pauvre en matière organique. Sa partie supérieure est moyennement riche en racines verticales et obli-

ques. Vers la base de cet horizon, la teinte due à la matière organique diminue progressivement, mais celle-ci s'organise en fines lignes plus ou moins horizontales distantes de 5 à 15 cm les unes des autres. La texture est sableuse. La structure est particulière à cohésion très faible. L'horizon présente une très forte porosité. La transition vers l'horizon A₂ est peu nette.

A₂ — L'horizon A₂, dont l'épaisseur varie selon les endroits de 2 à 4 m, est blanc, à nombreux niveaux de matière organique, subhorizontaux de 2 à 5 mm d'épaisseur, gris foncé, distants de 15 à 20 cm les uns des autres. La texture est sableuse et la structure particulière à cohésion très faible. Quelques petites racines traversent cet horizon jusqu'à la base. Dans sa partie inférieure, il peut présenter des plages à transition nette, horizontales ou verticales, à formes arrondies, ocre-jaunes, très faiblement argileuses.

Les fins niveaux de matière organique cités plus haut se continuent jusque dans ces plages, et par endroits les traversent. Ceci indique un mouvement de descente de ces niveaux. La transition à l'horizon suivant est toujours très abrupte.

Bh — L'horizon Bh, de 2 à 5 cm d'épaisseur, est brun-noir à brun-rouge très foncé ; très riche en matière organique. La texture est sableuse et la structure est particulière à cohésion très faible.

La transition à l'horizon sous-jacent, extrêmement induré, est très brutale.

B(h-Fe) — Cet horizon, très fortement cimenté, dont l'épaisseur varie de 1 à 2,5 m selon les endroits, est de couleur très variable, du brun-noir et brun-rouge très foncé jusqu'à l'ocre-jaune. La teneur en matière organique de cet horizon, variable selon les endroits, est moyenne à faible. La texture est sableuse. Malgré une induration très forte, cet horizon présente une macro-porosité considérable sous forme de zones verticales sableuses non indurées le long desquelles chemine l'horizon Bh précédent qui s'infiltré localement jusqu'en dessous de l'horizon B(h-Fe).

La transition de l'horizon B(h-Fe) vers C est progressive sur une cinquantaine de centimètres.

C — La roche-mère du profil est sablo-argileuse, beige-ocre, non indurée, à structure fondue, très légèrement collante. On y distingue quelques paillettes de mica blanc. Aucune nappe d'eau n'a été observée en saison des pluies.

III. — CARACTÉRISTIQUES ANALYTIQUES DE CES SOLS

GRANULOMÉTRIE

La texture est sableuse dans les horizons A et devient sablo-limoneuse en B(h-Fe) et C.

MATIÈRE ORGANIQUE

Les taux de matière organique sont peu élevés : 0,9 à 1,5 % dans le haut de A₁ ; autour de 0,3 %

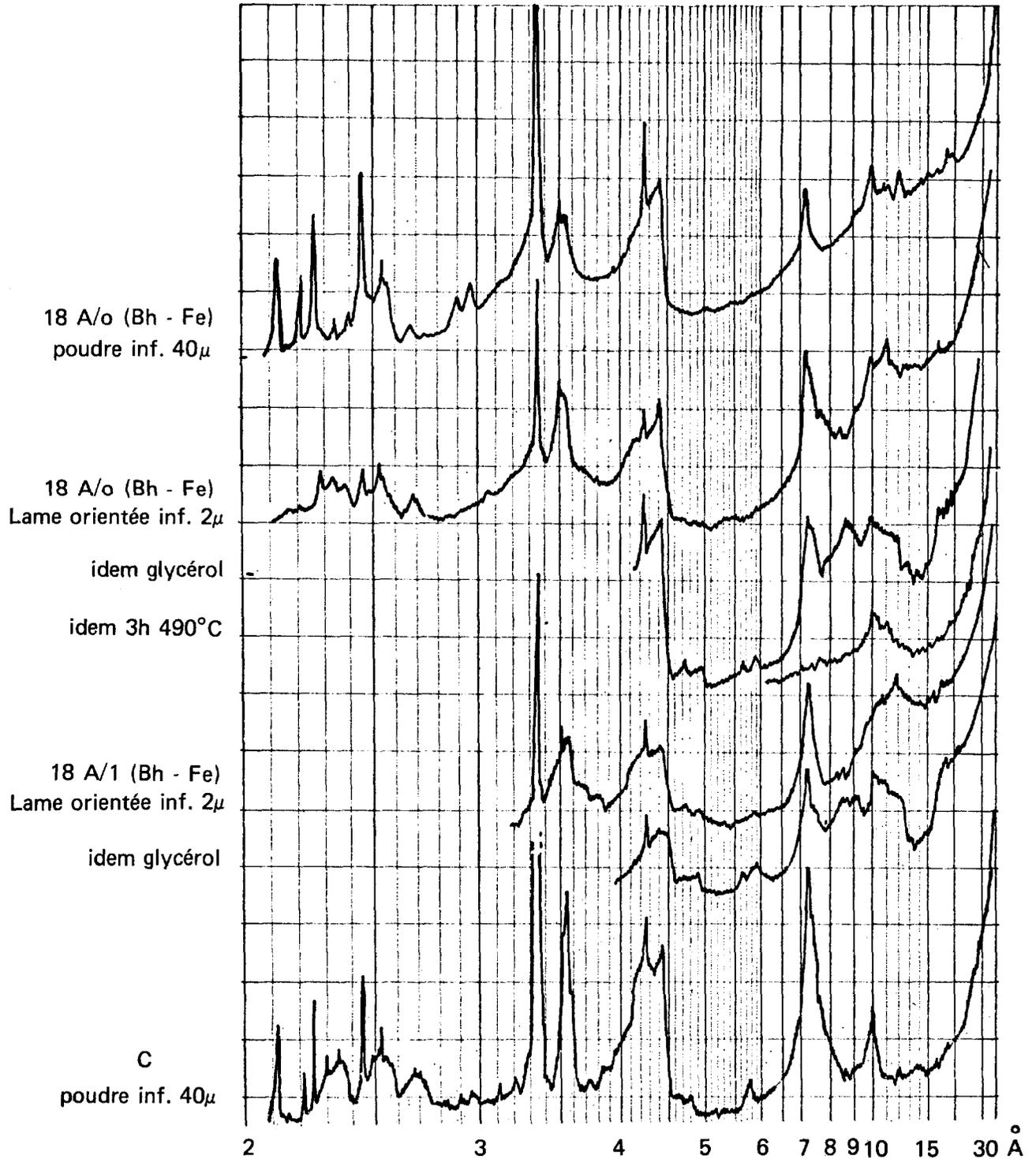


FIG. 1. — Diffractogrammes d'échantillons des horizons B(h-Fe) et C du podzol de Sao-Roque.

en A₂; 1,5 à 2 % en Bh et 0,5 à 3 % en B(h-Fe).

Le C/N de A₁ est peu élevé : 11 à 13.

Les fractions organiques des horizons A₁ et Bh ont été extraites par la méthode Dabin (1971). L'application de la méthode ne fut pas possible aux horizons B(h-Fe) car après le prétraitement acide (H₃PO₄2M) il y eut solubilisation des fractions humiques avant l'utilisation des réactifs alcalins. Les résultats sont représentés au tableau I :

TABLEAU I

Fractions organiques et carbone total du podzol de Sao-Roque

Horizons	Acides fulviques (C %)	Acides humiques (C %)	Humines (C %)	Carbone total (%)
A ₁	0,23	0,45	—	0,72
Bh	0,66	0,20	—	0,87
B(h-Fe)	?	?	—	1,46

ACIDITÉ

Le pH de surface est assez voisin de 6, il diminue d'une unité dans A₂ (5) et ne remonte que légèrement dans l'horizon C (5,5).

CAPACITÉ D'ÉCHANGE - BASES ÉCHANGEABLES

La capacité d'échange de la terre fine est faible : elle oscille entre 1 et 1,5 mé % dans la partie supérieure de A₁; autour de 0,25 mé % dans A₂; entre 2 et 3 mé % en B(h-Fe) et C.

La somme des bases échangeables est inférieure à 0,5 mé % en A₁; inférieure à 0,1 mé % en A₂ et de l'ordre de 0,5 mé % en B(h-Fe).

IV. — ÉTUDE DES MINÉRAUX ARGILEUX

DIFFRACTION DES RAYONS X

Des extraits inférieurs à 2 μ des horizons B(h-Fe) et C ont été examinés par diffraction des rayons X

en lame orientée. La fraction inférieure à 40 μ, obtenue par tamisage à sec, des mêmes horizons a été étudiée en poudre désordonnée.

Les diagrammes obtenus sont représentés sur la figure 1.

L'examen des diffractogrammes de la figure 1 nous montre que :

1) le seul minéral argileux présent à la base des profils est une kaolinite désordonnée (7,15 ; 4,40 ; 3,56 ; zone 2,50-2,56 et zone 2,29-2,38 Å).

Le diffractogramme de l'horizon C nous montre en outre du quartz (3,34 ; 4,23 ; 2,44 ; 2,24 et 2,12 Å), de l'illite 10 Å et de la goethite (2,67 et 4,18 Å).

2) les échantillons d'alias 18 A/0 et 18 A/1 contiennent, à côté de la kaolinite désordonnée, du quartz, de la goethite, des micas hydratés plus ou moins vermiculitisés dont les réflexions occupent toute la zone de 10 à 14 Å ;

3) les mêmes échantillons glycérolés contiennent, par l'apparition sur les diffractogrammes d'une zone vide à 14 Å, qui se rabat vers 17-18 Å, de la montmorillonite.

Interprétation

Ce profil nous montre :

— Dans l'horizon C, une kaolinite désordonnée, de l'illite, du quartz et de la goethite.

— Dans l'alias fortement imprégné de produits organiques agressifs, de la kaolinite désordonnée, des illites hydratées, vermiculitisées et de la montmorillonite.

Cette genèse dans les sols, et principalement dans les podzols, de montmorillonite à partir des illites et des micas dioctaédriques sous climat tempéré a déjà été montré par McEwan (1949), White (1951), Heystek (1955), Schmehl et Jackson (1956), Brown et Jackson (1958), Gjems (1960, 1967), Ross et Mortland (1966), Post et White (1967) et Kodoma et Brydon (1968).

Nous retrouvons ici en milieu tropical humide, les mêmes mécanismes décrits en milieu tempéré par Jackson *et al.* (1952, 1954), Jackson (1959, 1963), Camez (1962), Millot (1964), Millot, Lucas et Paquet (1965) :



V. — MESURES RADIOMÉTRIQUES

5.1. Les déterminations d'Uranium et de Thorium

Les teneurs en Uranium et Thorium ont été déterminées pour tout le profil par la technique de la spectrométrie gamma à bas bruit de fond. L'appareillage utilisé est un détecteur NaI (TI) (4" × 4") avec photomultiplicateur de quartz protégé par un château de plomb et de fer de 10 tonnes. Les comptages ont été faits par un analyseur électronique Howlett-Packard de 1 024 canaux, d'un rendement et d'une résolution de 5 à 8 % ; les temps de comptages furent de 500 minutes.

RÉSULTATS

(a) Pour les horizons A, 10 échantillons, prélevés de 30 en 30 cm, montrent tous une teneur en Uranium et Thorium inférieure à la limite de sensibilité de l'appareillage utilisé.

(b) Pour l'aliol, épais d'environ 1,8 m, 5 échantillons prélevés de 30 en 30 cm, donnèrent les résultats représentés au tableau n° 2.

TABLEAU II

Teneurs en U et Th du podzol de Sao-Roque.

Les profondeurs sont notées à partir du haut de l'aliol

	Profondeur (cm)	Uranium (ppm)	Thorium (ppm)
Bh	0- 30	0,78 ± 0,1	7,37 ± 0,1
	30- 60	0,75 ± 0,1	5,93 ± 0,1
B(h-Fe)	60- 90	0,80 ± 0,1	5,87 ± 0,1
	90-120	0,98 ± 0,1	7,91 ± 0,1
	150-180	1,01 ± 0,1	8,04 ± 0,1
C	300	0,90 ± 0,1	5,70 ± 0,1
R	Sup. 300	0,94 ± 0,1	5,30 ± 0,1

(c) Pour la roche-mère, deux mesures ont été effectuées : la première sur la roche-mère altérée mais non podzolisée, la seconde sur la roche-mère non altérée. Les résultats sont représentés au tableau II.

CONCLUSION

Il se dégage de ces mesures :

(a) Que les teneurs en Uranium augmentent progressivement dans l'aliol jusqu'à une valeur voisine de celle du matériau originel.

(b) Que les teneurs en Thorium montrent une nette accumulation à la base de l'aliol par rapport à la teneur dans la roche-mère.

5.2. Mesures d'activités spécifiques C¹⁴/C¹²

Les horizons susceptibles de donner des mesures C¹⁴/C¹² ont été analysés ; les résultats sont les suivants :

Horizons A₁

- Matière organique totale $\delta^{14}\text{C} = 17 \pm 1 \%$
- Acides fulviques $\delta^{14}\text{C} = 20 \pm 1 \%$

Horizons B

Les activités spécifiques exprimées en âge ¹⁴C donnent les valeurs suivantes :

- Bh : Carbone total 550 ± 120 ans
- B(h-Fe) : partie supérieure, Carbone total 1 750 ± 150 ans
- B(h-Fe) : partie centrale, Carbone total 3 300 ± 200 ans

Ces mesures indiquent que des processus de podzolisation affectent ce profil depuis plus de 3 000 ans. Il est intéressant de noter que la plupart des podzols européens donnent pour leurs aliols, en âge C¹⁴, des valeurs très voisines de l'ordre de 3 000 ans

CONCLUSIONS

Alors que l'essentiel des travaux sur les podzols

des régions tropicales montrent des podzols hydro-morphes à nappe, au Brésil, les processus d'altération ont formé localement d'épais podzols humo-ferrugineux typiques, semblables à des podzols de régions tempérées et froides que multiplierait un facteur dix.

Morphologiquement ces sols, situés en position de très bon drainage, sont caractérisés par un horizon A_2 éluvial très blanchi et par un horizon B subdivisé en un horizon d'accumulation humifère supérieur et un horizon d'accumulation de fer inférieur.

Des dosages Uranium-Thorium permettent d'affirmer que l'horizon A_2 est bien un horizon éluvial : il y a lessivage en Uranium et Thorium en A_2 et accumulation temporaire de ces deux éléments dans l'horizon d'accumulation humifère et ferrugineux.

Des datations isotopiques C^{12}/C^{14} sur les divers horizons humifères permettent de conclure que les processus de podzolisation qui affectent ces sols fonctionnent depuis plus de 3 000 ans. L'horizon d'accumulation montre, de l'extérieur vers le centre, successivement, 550, 1 750 et 3 300 ans et permet d'avancer que le processus de podzolisation se continue de nos jours.

Comme dans les podzols humo-ferrugineux des régions tempérées, la dégradation des micas conduit à la montmorillonite.

Si l'on cherche à préciser les facteurs qui favorisent cette podzolisation, on pense à :

- des précipitations élevées et un drainage excellent,
- une acidité très forte, associée à une désaturation importante,
- des substances humifères où abondent les acides fulviques.

Mais, de même que le couvert forestier est identique pour les podzols et les sols ferrallitiques voisins, toutes ces caractéristiques sont les mêmes pour les deux ensembles de sols. Elles ne sont pas de nature à déclencher seules la podzolisation.

Par contre, dans les podzols, la texture est très différente, avec une fraction argile très faible et une teneur en sable très élevée. Cette différence de texture est-elle suffisante pour faire démarrer la podzolisation ? Ceci apparaît possible et il faut remarquer que les podzols sont particulièrement pauvres en bases, ce qui ralentit l'activité des micro-organismes pouvant détruire les substances chélatantes solubles ou pseudo-solubles susceptibles d'entraîner le fer et l'aluminium.

De plus, une tectonique récente a joué dans la zone étudiée, et il est possible que le podzol étudié soit en fait un ancien podzol de nappe, comme il en existe dans la région. Quoi qu'il en soit du mode de formation initiale de ce sol, il ne peut plus que continuer à évoluer comme un podzol.

Manuscrit reçu au SCD de l'ORSTOM le 16 avril 1975.

BIBLIOGRAPHIE

- ALTENMULLER (H.J.), KLINGE (H.), 1964. — Micromorphological investigations on the development of podzols in the Amazon basin. *Soil micromorphology. Proc. II. int. Wk Mtg Soil Micromorph. Arnhem* : 295-305.
- BROWN (B.E.), JACKSON (M.L.), 1958. — Clay mineral distribution in the Hiawatha sandy soils of Northern Wisconsin. *Clays and Clay Min.* 5th Nat. Conf. 1956 : 213-226.
- CAMEZ (T.), 1962. — Etude sur l'évolution des minéraux argileux dans les sols des régions tempérées. Thèse Sci. Strasbourg, *Mém. Serv. Carte Géol. Als. Lorr.*, 20, 90 p.
- COLMET-DAAGE (F.), 1953. — Etude préliminaire des sols de Guyane. Rapport I.F.A.T. ; 97 p., 2 cartes de végétation et des sols à 1/50 000.
- DABIN (B.), 1971. — Etude d'une méthode d'extraction de la matière humique du sol. *Science du sol*, 1 : 47-63.
- DAY (T.H.), 1959. — Guide to the classification of the late tertiary and quaternary soils of the lower Amazon valley. Pub. F.A.O. mimeo.
- GJEMS (O.), 1960. — Some notes on clay minerals in podzol profiles in Fennoscandia. *Clay Min. Bull.*, 4 : 208-211.
- GJEMS (O.), 1967. — Studies on clay mineral formation in soil profiles in Scandinavia. *Meddr. Norsk Skogsforsves*, 21 : 303-415.
- HEVSTEK (H.), 1955. — Some hydrous micas in south african clays and shales. *Clays and Clay Min.* 3rd Nat. Conf. 1954 : 337-355.
- JACKSON (M.L.) *et al.*, 1952. — Weathering sequence of clay-size minerals in soils and sediments. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 16 : 3-6.
- JACKSON (M.L.) *et al.*, 1954. — Some analyses of soil montmorillonite, vermiculite, mica, chlorite and interstratified layer silicates. *Clays and Clay Min.* 2nd Nat. Conf., 1953 : 218-240.
- JACKSON (M.L.), 1959. — Frequency distribution of clay minerals in major great soil group as related to the factors of soil formation. *Clays and Clay Min.* 6th Nat. Conf. 1957 : 133-143.

- JACKSON (M.L.), 1963. — Interlayering of expansible layer silicates in soils by chemical weathering. *Clays and clay Min.* 11th Conf. 1962: 29-46.
- KLINGE (H.), 1958. — Report on tropical podzols (s.l.). World soil Resource Office.
- KLINGE (H.), 1967. — Podzol soils: a source of blackwater rivers in Amazonia. In: Atas do Simpósio sobre a biota amazônica. *Limnologia*: 117-125.
- KLINGE (H.), 1969. — Climatic conditions in lowland tropical podzol areas. *Tropical ecology* 10, (2): 222-239.
- KODAMA (H.), BRYDON (J.E.), 1968. — A study of clay minerals in podzol soils in New Brunswick, Eastern Canada. *Clay Min.*, 7: 295-309.
- MC EWAN (D.M.C.), 1949. — Some notes on the recording and interpretation of X-ray diagrams of soil clays. *J. Soil Sci.*, 1: 90-103.
- MILLOT (G.), 1964. — Géologie des argiles. Masson et Cie, Ed., Paris, 499 p.
- MILLOT (G.), LUCAS (J.), PAQUET (H.), 1965. — Evolution géochimique par dégradation et agradation des minéraux argileux dans l'hydrosphère. *Géol. Rundsch.*, 55: 1-20.
- MOHR (E.G.J.), VAN BAREN (F.A.), 1954. — Tropical soils; a critical study of soil genesis as related to climate, rock and vegetation. Amsterdam; Royal Tropical Institute, Interscience publisher.
- POST (D.F.), WHITE (J.L.), 1967. — Clay mineralogy and mica-vermiculite layer charge density. Distribution in the Switzerland soils of Indiana. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 31, 3: 419-424.
- ROSS (G.J.), MORTLAND (M.M.), 1966. — A soil beidellite. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 30, 3: 337-343.
- SCHMEHL (W.R.), JACKSON (M.L.), 1956. — Interstratification of layer silicates in two soil clays. *Clays and clay Min.* 4th Nat. Conf. 1955: 423-428.
- SETZER (J.), 1949. — Os solos do Estado de Sao-Paulo. Instituto brasileiro de Geografia e Estatística. Serie A, 6, 148 p.
- TURENNE (J.F.), 1970. — Influence de la saison des pluies sur la dynamique des acides humiques dans les profils ferrallitiques et podzoliques sous savane en Guyane Française. *Cah. ORSTOM, Pédol.*, VIII, 4: 419-450.
- TURENNE (J.F.), 1972. — Dynamique de la matière organique sous végétation de savane en Guyane Française. Caribbean Food Crops Society 10th Annual Meeting.
- VIEIRA (L.S.) *et al.*, 1967. — Levantamento de reconhecimento dos solos da Região Bragantina, Estado do Pará. *Bol. Tec. Inst. Pesq. Exper. Agropécuarias Norte*, 47: 1-63.
- VIEIRA (L.S.), OLIVEIRA FILHO (J.P.S.), 1962. — As caatingas do Rio Negro. *Bol. Tec. Inst. Agron. Norte*, 42: 1-32.
- WHITE (J.L.), 1951. — Transformation of illite into montmorillonite. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 15: 129-133.