

Quelques propriétés de l'humus d'un sol ferrallitique humifère sur granite du Parana (Brésil)

Boris VOLKOFF (1) et Carlos Clemente CERRI (2)

RESUME

L'humus d'un sol ferrallitique humifère sur granit de la région sub-tropicale d'altitude du Parana (Brésil) est étudié par fractionnement. Les substances humiques séparées sont caractérisées par leurs propriétés optiques : absorption dans le spectre visible et indice E_4/E_6 . Le fractionnement montre que l'humus provient de la précipitation et de la polymérisation de substances organiques issues de la surface du sol : il contient peu d'humine, les acides humiques et les acides fulviques libres se distribuent de façon caractéristique dans le profil. Toutes les fractions ont un indice E_4/E_6 élevé ; cet indice est de 6 pour les acides humiques et varie de 6 à 20 pour les acides fulviques. Analysant l'ensemble des données on conclut que l'accumulation humifère a pour principale origine la précipitation des précurseurs libérés par les litières en acides fulviques (extraits à la soude) et la transformation de ceux-ci en acides humiques.

INTRODUCTION.

Des reconnaissances de terrain réalisées au Parana ont permis de constater que, sur la partie cristalline du plateau atlantique de cet Etat, existent des sols ferrallitiques humifères à horizons superficiels noirs et épais. Ce sont des **latossolos**, des **solos podzolicos** et des **cambissolos** suivant la classification brésilienne, tous qualifiés d'humifères ou sols à horizon **A proéminent**. Ces sols se rencontrent plus spécialement à la frontière de l'Etat de Sao Paulo d'une part, autour de Curitiba d'autre part. Dans

(1) Mission ORSTOM, Instituto de Geociências, Universidade de Sao Paulo, Cidade Universitaria, Caixa Postal 20899, Sao Paulo, Brésil.

(2) Centro de Energia Nuclear na Agricultura, 13400 Piracicaba (SP), Brésil.

ce travail, il ne sera question que des premiers ; les seconds, ceux de la région de Curitiba, doivent être considérés conjointement avec des rubroszems de cette zone, et feront l'objet d'une publication ultérieure.

Il ne s'agit pas d'aborder ici l'ensemble des problèmes que pose la genèse de ces sols, mais d'étudier plus particulièrement leur matière organique afin de tenter de mettre en évidence les mécanismes responsables de l'accumulation humifère qui s'y observe.

La matière organique d'un sol est souvent caractérisée qualitativement par ses constituants humiques. A cet effet, la méthode d'extraction et de fractionnement des composés humiques de Tiurin (1951), modifiée par Duchaufour et Jacquin (1963) puis Dabin (1971), s'applique très bien aux sols tropicaux, en particulier aux sols du Brésil (Volkoff, 1977). Un tel fractionnement, s'il est intéressant pour les comparaisons, apporte toutefois peu d'informations sur les propriétés de chaque constituant. Or lorsqu'on désire aborder la question des mécanismes, la connaissance de ces propriétés est indispensable. Malheureusement les méthodes d'investigation sont complexes et nécessitent des purifications longues et difficiles. Quelques mesures simples comme celles de la densité optique peuvent cependant facilement être réalisées sur les substances humiques séparées lors du fractionnement. Il y a là une première approche, qui reste certes indirecte, à l'étude des caractéristiques bio-chimiques des fractions de l'humus. Des travaux récents (Lowe et Godkin, 1975 ; Ponomareva et Plotnikova, 1975) soulignent l'intérêt que présente l'emploi des paramètres spectroscopiques dans les recherches sur l'humus.

Toutes les substances humiques n'ont pas les mêmes intensités de couleurs ; elles absorbent différemment la lumière visible suivant le type de sol dont elles sont issues ; il y a aussi des variations suivant les catégories de substances. Ainsi, pour une même concentration, les acides humiques d'un chernozem absorbent beaucoup plus que ceux d'un podzol et, en règle générale, les acides humiques absorbent plus que les acides fulviques (Kononova, 1966). Les propriétés optiques des substances humiques en solution peuvent être directement décelées à la lecture des spectres d'absorption. Elles peuvent aussi être définies, et c'est ce qui se fait le plus souvent, par des indices. De nombreux indices ont été proposés ; Flaig *et al.* (1975) en ont dressé l'inventaire. Un des indices les plus utilisés est le rapport E_{465}/E_{665} , rapport des extinctions à 465 et 665 nm.

Dans ce travail on se propose de caractériser l'humus d'un sol ferrallitique humifère de l'Etat du Parana par une méthode de fractionnement et d'étudier les propriétés spectroscopiques des différentes substances humiques séparées.

1. MATERIEL ET METHODES.

LOCALISATION ET MILIEU PHYSIQUE.

Le sol choisi est situé dans l'Etat du Parana (Brésil), à 96 km au nord de Curitiba (Fig. 1), en bordure de la route Curitiba-Apiá (BR 476). L'altitude est de 900 m. La pluviosité annuelle est de 1250 mm ; il n'y a pas de saison sèche mais seulement une diminution de volume des pluies pendant la période mai-août. Du point de vue des températures, deux saisons se distinguent nettement : un hiver frais de juin à août (températures moyennes de cette période : 10° C) et un été dont le mois le plus chaud est janvier (moyenne de ce mois : 20° C) ; la moyenne annuelle est de 17° C. La végétation est une forêt sub-tropicale, *sub-caducifoliée* à *Araucaria angustifolia* ; le sous-bois, constitué de bambous et fougères, est très dense. La topographie est ondulée, le drainage général bien assuré. Le profil est situé près du sommet d'une croupe convexe (pente 2-3 ‰). La roche mère est un granite à biotite.

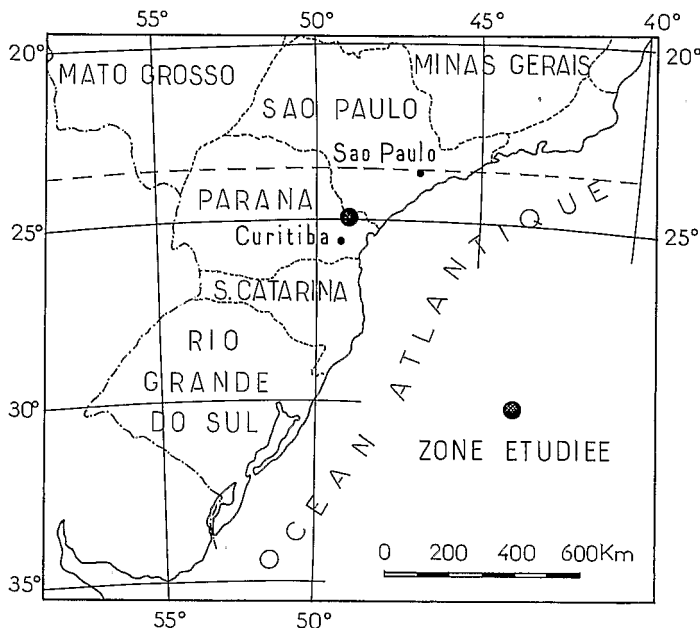


FIGURE I. — *Le Brésil du Sud : localisation de la zone étudiée*
South of Brazil : location of the studied area

CARACTERISTIQUES DU PROFIL.

Le sol se classe comme ferrallitique fortement désaturé humifère (CPCS, 1967) ou **podzolic latossolico humico** suivant la classification brésilienne. En surface il y a une litière de 2 cm. L'horizon A a 75 cm d'épaisseur. Il se subdivise en A₁₁ de 0-10 cm, A₁₂ de 10 à 45 cm et A₃ de 45 à 75 cm. A₁₁ et A₁₂ sont noirs ; le premier sub-horizon est caractérisé par une structure grumeleuse moyenne nette, le second par une structure grumeleuse très fine et bien développée. L'horizon A₃ est gris foncé et sa structure est diffuse. L'horizon B₁ correspond à la tranche de 75 à 110 cm de profondeur ; il est gris (légèrement plus sombre que le précédent) ; sa structure est continue. L'horizon B₂, de 110 à 230 cm, est jaune, friable, poreux à structure micronodulaire assez nette. A 230 cm on rencontre quelques cailloux de quartz et apparaissent des plages de granite altéré très friable.

Les caractéristiques analytiques principales du sol sont résumées dans le tableau 1. Elles mettent en évidence : une texture argileuse sans différenciation marquée dans le profil, une forte désaturation du complexe absorbant associée à des teneurs élevées en aluminium échangeable, des teneurs relativement faibles en fer total.

La fraction argileuse est constituée de kaolinite surtout, de gibbsite, et de rares, vermiculite et interstratifiées illite-vermiculite (Cerri, 1978). La fraction sableuse est quartzueuse avec quelques rares micas altérés.

TABLEAU I. — *Caractéristiques analytiques principales du sol étudié : lf, limon fin ; S, somme des cations échangeables ; Al³⁺, aluminium échangeable ; T, capacité d'échange ; V, taux de saturation ; C, carbone organique total ; N, azote total ; Fe₂O₃, Fe₂O₃ total*

Main analytical characteristics of the studied sol : a, clay ; lf, fine silt ; S, sum of exchangeable cation ; Al³⁺, exchangeable aluminium ; T, cation exchange capacity ; V, percentage base saturation ; C, total organic carbon ; N, total nitrogen ; Fe₂O₃, Fe₂O₃ total

Horizon	Profondeur cm	a %	lf %	pH _{H₂O}	pH _{KCl}	s	Al ³⁺ mē/100g	T	V %	C %	N %	Fe ₂ O ₃ %
A ₁₁	0- 10	36	6	4,3	3,7	2,6	4,1	16,2	16	3,8	0,4	2,6
A ₁₂	30- 40	36	6	4,0	3,6	2,1	4,9	15,7	13	3,3	0,2	2,5
B ₁	90-100	42	6	4,4	3,8	2,3	4,1	11,9	19	1,2	0,1	3,2
B ₂	155-165	47	6	4,4	3,9	2,2	3,8	7,9	28	0,3	-	3,1

FRACTIONNEMENT DE L'HUMUS.

La méthode utilisée est celle de Dabin (1971). Par des épaulements successifs à l'acide phosphorique, au pyrophosphate de soude et à la soude, on extrait et on sépare les matières légères, les acides fulviques libres, les acides humiques et fulviques pyrophosphate, les acides humiques et fulviques soude. Le résidu non extrait est l'humine. La méthode a été appliquée aux échantillons correspondant à des tranches de 10 cm d'épaisseur prélevés successivement à proximité de la surface du sol et à des intervalles de plus en plus espacés en profondeur. Dix tranches de 10 cm ont ainsi été analysées. On a dosé d'une part le carbone total et d'autre part le carbone de chaque fraction (fractions solubles et résidu insoluble). Les dosages du carbone ont été effectués par voie humide (oxydation à chaud par le bichromate de potassium en milieu sulfurique).

SPECTROMETRIE EN LUMIERE VISIBLE.

Après dosage du carbone, les solutions restantes ont été débarrassées de toute trace d'argile par centrifugation. Les acides humiques des extraits pyrophosphate et soude ont été précipités par acidification à l'acide sulfurique (pH 1). Après 24 heures de repos, on les a séparés du surnageant contenant les acides fulviques par centrifugation, puis lavés à l'eau acidulée et enfin dissous dans de la soude de telle sorte

que la concentration finale soit de 14 mg de C/100 ml et le pH de 8 (Kononova, 1966). Les solutions d'acides fulviques pyrophosphate et soude ont été respectivement neutralisées avec de la soude jusqu'à pH 8, puis concentrées à 60°C ; les sels précipités lors de la concentration des solutions neutralisées ont été éliminés par centrifugation. Les opérations neutralisation-concentration-élimination des sels ont été renouvelées jusqu'à obtention d'une solution de concentration légèrement supérieure à 14 mg de C/100 ml, de pH 8 et parfaitement limpide. Par dilution, cette solution a été amenée à 14 mg de C/100 ml. Les solutions d'acides fulviques libres en milieu acide phosphorique ont subi exactement le même traitement. La concentration du matériel extrait des horizons n'a pas posé de problèmes. Pour les horizons B par contre, beaucoup plus pauvres en carbone, la valeur de 14 mg de C/100 ml n'a pas pu être atteinte.

La spectrométrie de chacune des solutions a été faite avec un spectrophotomètre à double faisceau Varian, modèle 634. Les spectres d'absorption ont été enregistrés entre 350 et 700 nm. Les absorbances à 465 et 665 nm, lues directement sur l'appareil, ont été notées séparément.

2. RESULTATS.

FRACTIONNEMENT.

Le diagramme de la figure 11a indique la répartition du carbone total dans le profil. On note que les taux sont élevés et constants dans les 30 premiers centimètres (4% de carbone, soit près de 7% de matière organique), qu'ils décroissent progressivement avec la profondeur (il y a encore 1% de carbone à 1 m), qu'ils ne deviennent négligeables qu'à 2 m de profondeur, c'est-à-dire à la base de l'horizon B₂.

D'autre part, à toutes les profondeurs les taux de matières légères sont faibles, le carbone lié à cette fraction représente toujours moins de 1% du carbone total. Le carbone total correspond donc, à peu de choses près, au carbone de la fraction organique humifiée et sa distribution dans le profil reflète celle de l'humus.

Puisqu'il s'agit d'un sol sous forêt où la source de matière végétale est principalement la litière, l'accumulation humifère observée ne peut s'expliquer que si l'on suppose des transferts depuis la surface, donc des migrations et des stabilisations en profondeur.

Le diagramme de la figure 11b donne les proportions relatives des fractions aux diverses profondeurs et montre sous quelles formes le carbone est stabilisé dans le sol. On note que les fractions extractibles l'emportent sur l'humine. L'humine représente en effet à peine 40% du carbone total dans les horizons A, moins de 30% dans les horizons de profondeur. Ceci est l'indication d'un humus peu condensé et peu lié à la matière minérale. On constate aussi que les acides fulviques libres ont une grande importance. Dans l'horizon A₁ ils représentent 20% du carbone total contre 40% pour les acides humiques et fulviques alcalino-solubles, mais les proportions s'inversent rapidement en profondeur. L'augmentation des acides fulviques libres est même plus significative que la diminution des fractions alcalino solubles et, dans les horizons B, les premiers représentent 50% du carbone total et les seconds seulement 20%. L'abondance des acides fulviques libres dans les sols acides a déjà été signalée. Ces acides seraient issus de précurseurs très mobiles ; ils sont fixés par les argiles et rendus de ce fait relativement stables ; ceci explique leur accumulation dans les sols argileux (Volkoff, 1977).

En ce qui concerne le rapport acides humiques, acides fulviques liés (acides fulviques pyrophosphate et soude), on constate que les deux formes se rencontrent en proportions à peu près équivalentes dans les 45 premiers centimètres du profil, c'est-à-dire dans l'horizon A₁, mais que l'avantage est nettement aux acides fulviques en profondeur, ceci parce que les acides humiques tendent à disparaître alors que les acides fulviques liés se maintiennent pratiquement constants (environ 20% du carbone total). Les acides humiques apparaissent donc comme caractéristiques des horizons A. Il est probable que dans l'équilibre dynamique entre les acides fulviques soude et les acides fulviques pyrophosphate, ils correspondent, comme cela a été montré dans

274 FIGURE II. — Variations des caractéristiques de l'humus dans le profil

Variation of the characteristics of humus in the profile

(a) Distribution du carbone total

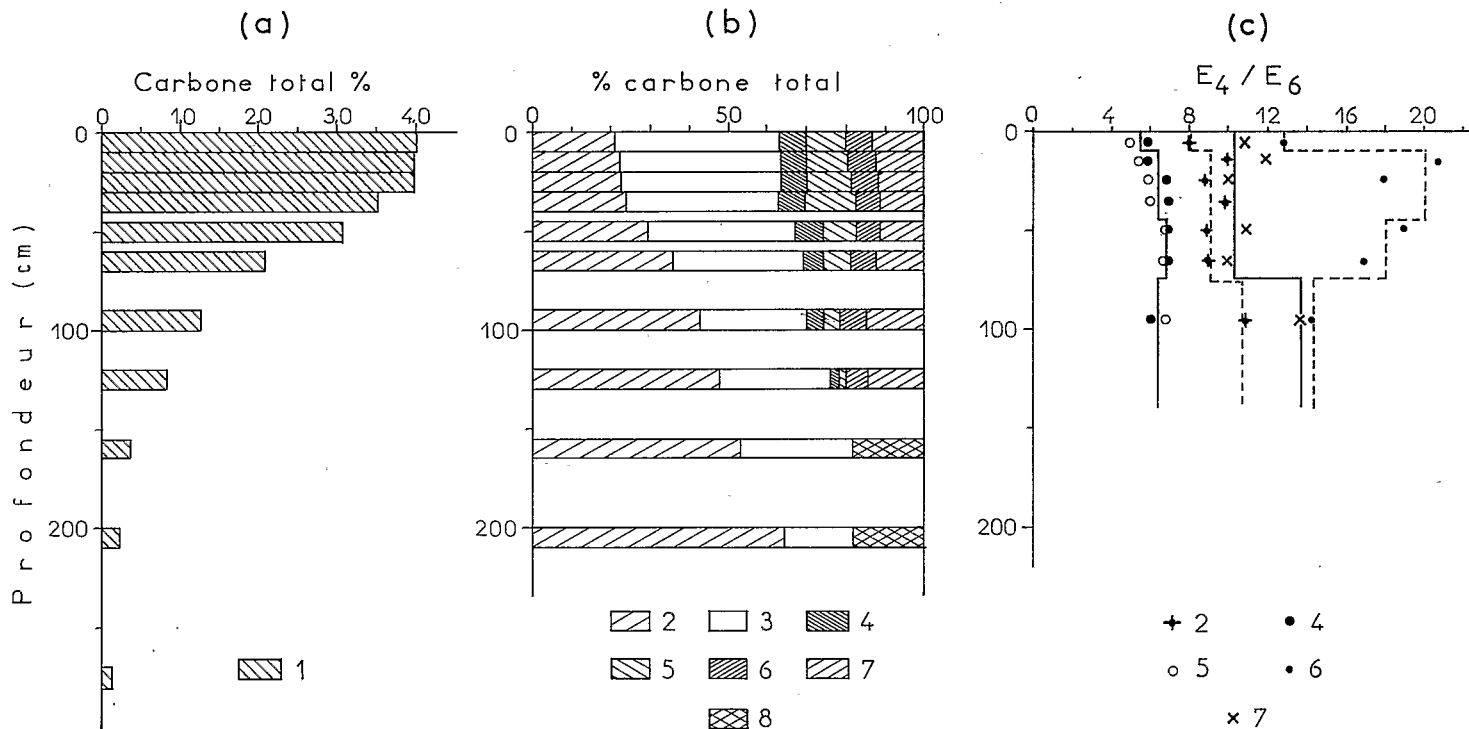
(b) Proportions relatives des fractions de l'humus

(c) Relation E_4/E_6 des fractions

(a) Total carbon distribution

(b) Relative proportions of the humic fractions

(c) E_4/E_6 ratio of the fractions



1 : carbone total ; 2 : acides fulviques libres ; 3 : humine ; 4 : acides humiques soude ; 5 : acides humiques pyrophosphate ; 6 : acides fulviques soude ; 7 : acides fulviques pyrophosphate ; 8 : acides humiques et fulviques, soude et pyrophosphate non différenciés.

1 : total carbon ; 2 : free fulvic acids ; 3 : humin ; 4 : sodium hydroxide humic acids ; 5 : sodium pyrophosphate humic acids ; 6 : sodium hydroxide fulvic acids ; 7 : sodium pyrophosphate fulvic acids ; 8 : sodium hydroxide and sodium pyrophosphate humic and fulvic acids not differentiated.

d'autres sols humifères acides (Volkoff, 1977), à une forme de condensation temporaire reflétant une situation bio-climatique favorable à l'accumulation de l'humus.

SPECTROMETRIE DES FRACTIONS.

Les mesures spectrométriques montrent que pour toutes les fractions, l'absorption de la lumière croît régulièrement lorsqu'on passe des proximités de l'infrarouge aux

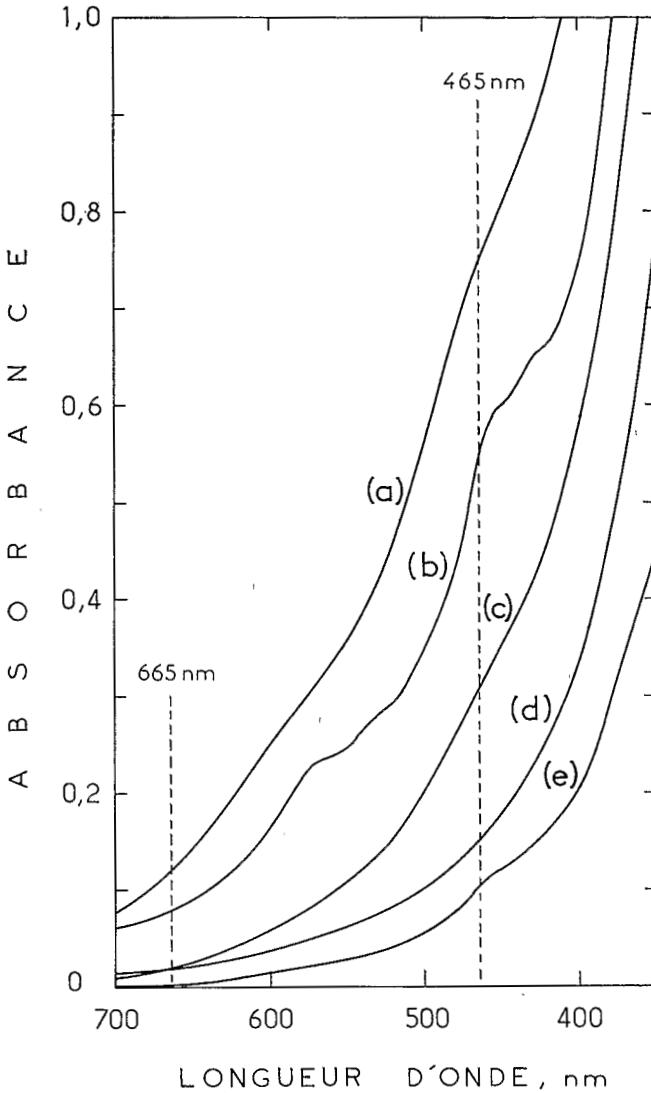


FIGURE III. — Spectres d'absorption des fractions de l'humus extraites de l'échantillon 10-20 cm de profondeur : (a) acides humiques pyrophosphate; (b) acides humiques soude; (c) acides fulviques pyrophosphate; (d) acides fulviques libres; (e) acides fulviques soude (Pour chaque fraction la concentration est de 10 mg de carbone pour 100 ml et le pH est de 8)

The absorption spectrum of the humus fractions extracted from samples at a depth of 10-20 cm : (a) sodium pyrophosphate humic acids; (b) sodium hydroxide humic acids; (c) sodium pyrophosphate fulvic acids; (d) free fulvic acids; (e) sodium hydroxide fulvic acids (For each fraction, the concentration is of 10 mg of carbon per 100 ml and the pH is 8)

proximités de l'ultra-violet. Toutes les fractions, sauf les acides fulviques libres, donnent un léger maximum d'absorption vers 450 nm. Seuls les spectres des acides humiques soude présentent des irrégularités marquées avec deux zones de plus forte absorption, l'une entre 525 et 600 nm, l'autre entre 420 et 470 nm, ce qui les rapproche des acides humiques verts observés par Kumada (1967). Les caractéristiques respectives de chaque fraction peuvent être notées sur la figure III représentant les spectres de solution à 10 mg de C/100 ml. Ceux-ci rendent mieux compte des formes spécifiques que les spectres des solutions à 14 mg de C/100 ml, trop concentrées pour les acides humiques.

Les spectres de la figure III montrent que l'absorption des acides fulviques est extrêmement faible entre 600 et 700 nm. L'absorbance, pratiquement nulle pour des solutions à 10 mg de C/100 ml, reste très faible pour des solutions à 14 mg de C/100 ml. Entre 600 et 400 nm le pouvoir absorbant varie avec le type de fraction. Il décroît dans l'ordre suivant : acides humiques pyrophosphate, acides humiques soude, acides fulviques pyrophosphate, acides humiques libres, acides fulviques soude. En fait, lorsqu'on compare les spectres obtenus avec tous les échantillons étudiés, on s'aperçoit que les acides humiques pyrophosphate présentent toujours l'absorption la plus forte, les acides humiques soude et les acides fulviques pyrophosphate viennent ensuite sans se différencier nettement l'un de l'autre. Les acides fulviques libres et les acides fulviques soude absorbent toujours très peu, sans que l'on puisse dire laquelle des deux fractions est la moins absorbante.

L'indice E_4/E_6 est le rapport des absorbances à 465 et 665 nm. Il tient donc compte des propriétés aux courtes et grandes longueurs d'ondes du spectre visible. Il est très commode pour les comparaisons. Il est, de plus, théoriquement, indépendant de la concentration, ce qui autorise la prise en considération des extraits peu concentrés des horizons de profondeur. Les résultats des mesures faites montrent que l'indice est de 6 en moyenne pour les acides humiques pyrophosphate et soude. Ces deux fractions, comme on peut le constater sur la figure IIc, diffèrent peu l'une de l'autre ; leur indice, d'autre part, reste à peu près constant dans le profil. Celui des acides fulviques libres est compris entre 8 et 10, les valeurs se maintenant sensiblement constantes (voisines de 9) dans l'ensemble des horizons A. L'indice des acides fulviques pyrophosphate varie légèrement : il est compris entre 10 et 12 dans les horizons A, entre 12 et 14 dans les horizons B. Celui des acides fulviques soude varie fortement : il est compris entre 10 et 14 dans l'horizon A₁₁, atteint des valeurs élevées, de l'ordre de 20, dans l'horizon A₁₂, décroît ensuite progressivement dans A₃. Les fractions de l'humus se différencient donc nettement par leur indice E_4/E_6 ; les acides fulviques soude présentent d'autre part une variation remarquable dans le profil et en ce sens ils se distinguent des autres fractions dont l'indice reste pratiquement constant.

DISCUSSION ET CONCLUSION.

L'étude par fractionnement montre que l'humus du sol analysé provient de la précipitation et de la polymérisation de substances organiques solubles issues de la surface. Les fractions alcalino-solubles, principalement les acides humiques, sont caractéristiques des horizons A alors que les acides fulviques libres constituent la fraction prépondérante de l'humus des horizons de profondeur.

Lorsqu'on considère les propriétés optiques, chaque fraction révèle un comportement particulier. L'origine de ces propriétés est encore mal connue et on ne peut donner d'explication certaine aux différences constatées. Pour tenter d'interpréter les résultats on doit supposer comme le font beaucoup d'auteurs (Kononova, 1966 ; Lowe et Godkin, 1975 ; Schnitzer et Khan, 1972), qu'il y a une relation entre le pouvoir absorbant et la proportion de carbone sous forme aromatique ou encore le degré de condensation des noyaux aromatiques. Une substance humique serait donc d'autant plus absorbante qu'elle serait plus évoluée, c'est-à-dire transformée chimiquement par les processus de

l'humification, ce qui, pour un humus de précipitation comme le cas présent, est une hypothèse plausible. Quelle peut-être d'autre part la signification de l'indice E_4/E_6 ? Si aucune relation entre indice et aromaticité n'a été pleinement établie, une corrélation avec le poids moléculaire (ou taille apparente) paraît, par contre bien prouvée (Anderson et al., 1974 ; Chen et al., 1977) : l'indice augmente lorsque la taille diminue.

Pour Kononova (1966) les acides humiques ont un indice de 3 à 5, celui des acides fulviques variant de 6 à 8,5. Les valeurs obtenues sur le sol du Parana sont, tant pour les acides humiques que pour les acides fulviques, supérieures à celles données par Kononova. Par comparaison avec d'autres sols, on peut donc conclure que dans le cas présent les substances humiques sont de faibles poids moléculaires ; ceci confirme les tendances notées lors de l'analyse par fractionnement. Les acides humiques sont toujours les édifices les plus volumineux et les acides fulviques soude les plus petits, les acides fulviques libres et les acides fulviques pyrophosphate étant intermédiaires.

Si l'on admet une relation entre le rapport E_4/E_6 et le degré d'évolution, un indice élevé signifiant une faible évolution, ce sont les acides fulviques soude qui apparaissent comme les substances humiques les moins évoluées et les acides humiques comme les plus évoluées. Les acides fulviques soude correspondraient alors à la fraction la plus jeune et, dans l'hypothèse de migrations, à la fraction la plus récemment précipitée. Ils seraient donc les précurseurs des autres fractions.

Si il y a migrations de substances, en raisonnant en terme de tailles, on peut penser que ce sont les formes les plus petites qui ont le plus de chances de se déplacer. Or les résultats du fractionnement n'indiquent ni appauvrissement ni accumulation des acides fulviques soude dans le profil. Toutefois, comme on l'a noté, l'indice E_4/E_6 de cette fraction n'est pas constant et si l'on considère ses variations dans le profil on constate que les valeurs sont faibles dans la couche la plus superficielle du sol (Fig. II c). Ceci peut être la conséquence d'un appauvrissement ; en effet, si à la surface du sol il y a lessivage, les molécules les plus petites seront entraînées préférentiellement, et de cette soustraction différentielle résultera une décroissance de l'indice.

L'indice élevé des horizons immédiatement sous-jacents peut traduire aussi de son côté un enrichissement en molécules très petites.

En profondeur les molécules de petite taille devraient normalement se trouver de plus en plus nombreuses. Or l'indice diminue régulièrement, ce qui, contrairement à ce que l'on pourrait penser, voudrait dire que les acides fulviques soude augmentent de taille. Cette anomalie peut avoir une explication. En effet, si l'on examine simultanément les figures II b et II c, on constate qu'aux acides fulviques d'indice élevé correspondent les plus fortes proportions d'acides humiques. En d'autres termes, lorsque la taille des acides fulviques soude est très petite, la formation d'acides humiques est importante, ce qui voudrait aussi dire que plus la molécule est petite, plus elle se polymérise facilement. Par conséquent, les molécules petites ont d'autant moins de chances de migrer profondément qu'elles sont plus petites car elles se polymérisent alors très vite. L'indice E_4/E_6 des acides fulviques soude décroît donc avec la profondeur parce qu'il y a de moins en moins de petites molécules.

Deux faits se dégagent de cette analyse : d'une part la mobilité des acides fulviques soude et d'autre part leur transformation en acides humiques. L'étude des propriétés optiques tend donc à établir, ce qui d'ailleurs a déjà été soutenu par Dabin (1976) utilisant des voies différentes, que les acides fulviques soude sont des précurseurs des acides humiques.

On peut se demander pourquoi les acides fulviques libres apparaissent, par leur taille, supérieurs aux autres acides fulviques alors que leur distribution dans le profil indique qu'il s'agit d'une fraction particulièrement mobile, apparemment plus mobile que les acides fulviques soude ou pyrophosphate. Cette contradiction ne peut être levée mais on doit remarquer que la taille apparente des très petites molécules est fortement dépendante du pH (Chen et al., 1977). Ceci peut être facilement montré pour les acides fulviques libres : dans leur milieu d'extraction, en lieu très acide donc, l'indice

E_4/E_6 est de 20-22 soit plus du double de ce qu'il est à pH 8. Dans les conditions du sol, ces substances — si elles existent réellement en tant que telles, bien entendu — peuvent avoir des comportements, taille apparente en particulier, assez différents de ceux qui sont appréciés à pH 8.

Quoi qu'il en soit, puisque très probablement les acides fulviques libres se forment indépendamment des autres fractions (Flexor et Volkoff, 1977) et qu'ils appartiennent à un ensemble distinct de l'ensemble alcalino-soluble, on doit les dissocier nettement des acides fulviques soude. Et pour expliquer leur distribution dans le profil on peut admettre qu'il s'agit de substances réellement très mobiles, ou de formes issues d'une catégorie de précurseurs particulièrement mobiles.

En conclusion, l'humus du sol étudié paraît résulter de la stabilisation dans le profil de substances organiques mobiles. Ces substances précipitent sous forme d'acides fulviques extractibles par la soude et d'acides fulviques libres. Les premiers ne se maintiennent pas comme tels, ils se polymérisent très facilement en acides humiques et c'est sous cette forme qu'ils sont stabilisés et bloqués dans les horizons A. Les seconds, par contre, ne semblent pas se modifier, mais se distribuent dans tout le profil et sont directement fixés par le sol.

REMERCIEMENTS.

Les auteurs remercient le Dr. C.-O. Nogueira Cardoso et le Dr A.-M.-L. Neptune pour avoir facilité l'exécution de ce travail dans leurs laboratoires de microbiologie à l'Ecole Supérieure d'Agriculture « Luiz de Queiroz » à Piracicaba et de Sol-Fertilité-Matière organique au Centre d'Énergie Nucléaire pour l'Agriculture à Piracicaba.

(Reçu pour publication : octobre 78.)

SOME PROPERTIES OF THE HUMUS IN A HUMIC FERRALLITIC SOIL DERIVED FROM GRANITE IN THE STATE OF PARANA (BRAZIL)

SUMMARY

A humic ferrallitic soil developed from granite in the eastern part of the State of Parana in Brazil (Fig. 1) is studied. This soil, according to Brazilian classification, is a Podzolic-Latosolic humic soil. It is located at 900 m altitude in a sub-tropical humid climate area (1250 mm of rain per year without dry season, and annual average temperature of 17° C). The vegetation is a typical sub-tropical forest and the relief is undulated.

The main physical and chemical characteristics of the soil are presented in Table 1. The clay fraction is composed of kaolinite with very few vermiculite and interstratified mica-vermiculite.

The humus was fractionated using the Dabin method (1971). This method separates the following fractions : free fulvic acids (extracted with phosphoric acid); fulvic and humic acids (extracted with sodium pyrophosphate and sodium hydroxide) and humin. The optical density in the visible spectrum of each the fulvic and humic acids obtained, was determined and the E_4/E_6 ratio was established at 465 and 665 nm.

The humus fractionation shows that the humus results from precipitation and polymérisation of organic substances originated from litter (Fig. II a, II b). It shows also that humin constitutes only a small fraction of the soil organic matter.

The absorption spectrum of humic fractions indicates that the humic acids have always stronger absorbance than fulvic acids (Fig. III). With E_4/E_6 ratio the differences between humic and fulvic acids is also clear : for humic acids the relation is 6; for the fulvic acids the relation fluctuates between 6 and 20; the sodium hydroxide and sodium pyrophosphate fulvic acids have a lower ratio (Fig. II c). The E_4/E_6 ratio of the humic acids is constant in the profile; on the contrary the ratio due to the sodium hydroxide fulvic acids fluctuates strongly in the profile.

The global analysis of all the data makes possible to conclude that the humus of the soil results of (1) the precipitation of precursors liberated from the litter in sodium hydroxide fulvic acids, and (2) the transformation of this fraction in humic acids.

Bibliographie

- ANDERSON D.W., PAUL E.A. et St-ARNAUD R.J. — Extraction and characterization of humus with reference to clay-associated humus. *Can J. Soil Sci.* 54 : 317-323. 1974.
- CERRI C.C. — Etude de l'altération des granites au Brésil. Thèse en préparation.
- CHEN Y., SENESI N. et SCHNITZER M. — Information provided on humic substances by E_4/E_6 ratio. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41 : 352-358. 1977.
- C.P.C.S. FRANCA. — Classification des sols. Laboratoire de géologie-pédologie de l'E.N.S.A. de Grignon 1967. 96 p.
- DABIN B. — Etude d'une méthode d'extraction de la matière humique du sol. *Science du Sol* 1 : 47-63. 1971.
- DABIN B. — Méthode d'extraction et de fractionnement des matières humiques du sol. Application à quelques études pédologiques et agronomiques dans les sols tropicaux. *Cah. ORSTOM Sér. Pédol.* 14 (4) : 287-297. 1976.
- DUCHAUFOR Ph. et JACQUIN F. — Recherche d'une méthode d'extraction et de fractionnement des composés humiques contrôlée par électrophorèse. *Ann. Agron.* 14 : 885-918. 1963.
- FLAIG W., BEUTELSPACHER H. et RIETZ E. — Chemical composition and physical properties of humic substances. In. *Soil components*, Vol. 1 Organic component Gieseking, J.E. ed. Springer-Verlag, New-York. 4-211. 1975.
- FLEXOR J.M. et VOLKOFF B. — Distribution de l'isotope stable ^{13}C dans la matière organique d'un sol ferrallitique de l'Etat de Bahia (Brésil). *C.R. Acad. Sci. Paris* 284 (D) : 1655-1657. 1977.
- KONONOVA M.M. — Soil organic matter. End éd. Pergamon Press. Oxford, 1966.
- KUMADA K. et HURST H.M. — Green Humic acid and its possible origin as a fungal metabolite. *Nature* 214 : 631-633. 1967.
- LOWE L.E. et GODKIN C.H. — Properties of humic acid fractions in forest humus layers in British Columbia. *Can. J. Soil Sci.* 55 : 381-393. 1975.
- PONOMAREVA V.V. et PLOTNIKOVA T.A. — Comparison of the humus profiles of typical chernozem, dark gray forest soil and dark chesnut soil. *Soviet Soil Sc.* 7 (4) : 404-413. 1975.
- SCHNITZER M. et KHAN S.U. — Humic substances in the environment. Marcel Dekker, New-York, 1972.
- TIURIN I.V. — « Vers une méthode d'analyse pour l'étude comparative des constituants de l'humus du sol ». *Acad. Sc. U.R.S.S. Trav. Inst. Sols Dokutchaev (en russe)* n° 38. 1951. 32 p.
- VOLKOFF B. — La matière organique des sols ferrallitiques du Nordeste du Brésil. *Cah. ORSTOM. Sér. Péd.* 15 (3) : 61-75. 1977.

Quelques propriétés de l'humus d'un sol ferrallitique humifère sur granite du Parana (Brésil)

Boris VOLKOFF (1) et Carlos Clemente CERRI (2)

- 8 AOUT 1979

O. R. S. T. O. M.

(1) Mission ORSTOM, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Cidade Universitária, Caixa Postal 20899, São Paulo, Brésil.

(2) Centro de Energia Nuclear na Agricultura, 13400 Piracicaba (SP), Brésil.

Collection de Référence

R°

9797/ed/1