

Les matières organiques dans les sols tropicaux normalement drainés

Bernard DABIN

Pédologue O.R.S.T.O.M., Services Scientifiques Centraux, 70-74, route d'Aulnay, 93140 Bondy

RÉSUMÉ

L'auteur rappelle les synthèses faites antérieurement sur les humus des sols tropicaux, et donne par ailleurs des résultats récents obtenus avec une méthode de fractionnement de l'humus qui est décrite, en faisant référence à différents auteurs et différents pays. Une interprétation est tentée sur l'évolution des humus dans les sols tropicaux des régions humides et des régions à climat contrasté.

ABSTRACT

The author recalls the previous syntheses about the humus in tropical soils and, moreover, he gives some recent results obtained through a method of humus fractionalion which is described with reference to different authors and countries. An attempt was made to interpret the evolution of humus in the tropical soils of the humid regions and of the regions with well-marked climates.

Introduction

Dans ce bref article de synthèse sur les humus des sols tropicaux, nous désirons seulement faire ressortir quelques éléments de caractérisation analytique des sols tropicaux, tels que nous les pratiquons à l'O.R.S.T.O.M. depuis une dizaine d'années. Ces méthodes analytiques ont permis de mieux définir les humus de certains types de sols qui rentrent dans le cadre de la classification C.P.C.S. dont G. AUBERT a été l'un des principaux fondateurs.

En ce qui concerne les conditions de formation et d'évolution biologique des matières organiques dans les sols tropicaux, nous nous référons à la synthèse, présentée en 1973 dans le Tome 4 de l'ouvrage sur les sols ferrallitiques et plus particulièrement nous

faisons un bref rappel des données rassemblées par P. de BOISSEZON sur le bilan des matières organiques sous forêt et sous savane.

1. QUELQUES RÉSULTATS DU BILAN DES MATIÈRES ORGANIQUES TROPICALES

De BOISSEZON indique, pour la forêt tropicale humide, une biomasse de 500 t/ha, et pour la savane soudano-guinéenne, une valeur dix fois moindre. Au point de vue de la production de l'humus, ces différences se trouvent très atténuées. En effet, l'apport annuel au sol en forêt ne serait que de 25 tonnes par an, et en savane de 11 tonnes. Le rapport entre le poids de litière et l'apport de

matières végétales au sol est plus important sous savane que sous forêt, en raison de l'humidité réduite en saison sèche en savane, qui limite la décomposition de la litière. Le coefficient de transformation est de 0,1 sous forêt et de 0,2 sous savane (néanmoins sous savane, il faut compter de fortes pertes par les feux de brousse).

Le taux d'humification moyen des matières végétales est de 10 à 20 %; quant au taux annuel de minéralisation, il varie de 1,7 à 4 % en forêt et de 0,5 à 1,3 % en savane. On note d'importantes différences suivant les types de végétation et les climats; par ailleurs la mise en culture peut provoquer des pertes considérables par érosion (jusqu'à 20 % par an sol nu), d'après les résultats des cases d'érosion d'Adiopodoumé en Côte d'Ivoire.

2. QUANTITÉS DE MATIÈRES ORGANIQUES DANS LES SOLS TROPICAUX

Les teneurs en matière organique des sols sous forêt peuvent être très importantes dans les trois ou cinq premiers centimètres : jusqu'à 5 % ou 10 % du sol sec, parfois davantage; ces teneurs diminuent très rapidement en profondeur (2 % à 0,25 m, 1 % à 0,50 m).

Dans les sols sous savane, les taux de matière organique sont plus faibles en surface, mais décroissent plus lentement dans les trente premiers centimètres. Il existe une relation étroite entre la quantité de carbone et la teneur du sol en éléments fins (argile et limon fin). Pour une texture donnée, la teneur en matière organique diminue avec la pluviométrie, elle est très basse dans les sols sableux des régions sèches (moins de 1 %).

En ce qui concerne la température, au-delà de 25° en sol aéré, la destruction d'humus dépasse la production d'humus; par contre, en sol d'altitude, l'abaissement de température accroît la quantité de matière organique. En ce qui concerne la pénétration de l'humus en profondeur, ROOSE (1970) a montré que les produits solubles ou pseudosolubles provenant de la décomposition de la litière migrent surtout verticalement dans les profils, mais que, dans l'horizon B, les teneurs des eaux de drainage sont 2 à 4 fois plus faibles que dans les horizons A₁ et A₃; les matières organiques entraînées sont insolubilisées ou minéralisées dans une large mesure.

C'est surtout l'analyse des matières humiques dans les horizons profonds des sols ferrallitiques qui confirme la migration profonde des composés organiques peu polymérisés. Nous verrons dans les paragraphes suivants comment cette pénétration augmente dans les sols où la minéralisation se trouve ralentie.

3. ÉVOLUTION DES MATIÈRES ORGANIQUES EN FONCTION DES CONDITIONS DE SOL ET DE CLIMAT

L'augmentation des matières organiques dans les sols de texture lourde s'accompagne d'une augmentation du rapport C/N. Il se produit soit un léger engorgement, soit un taux de décomposition plus faible des complexes argilo-humiques, soit une limitation de la migration des complexes humifères.

1. DANS LES SOLS FORESTIERS HUMIDES, le rapport C/N décroît lorsque le taux de bases et le pH augmentent (LENEUF 1959; LÉVÊQUE 1967). Il est plus élevé en bas de pente que sur un versant soumis à l'érosion (De BOISSEZON 1969; LÉVÊQUE 1967).

2. DANS LES SOLS DE SAVANE, les rapports C/N sont généralement très élevés, de 15 à 19. Dans ce cas, c'est essentiellement la végétation graminéenne, riche en lignine et pauvre en azote, qui en est la cause.

De BOISSEZON 1973 signale l'existence de débris de charbon dans ces sols, mais H. LEROUX (1980) montre que ces débris ont peu d'influence sur le rapport C/N; en revanche, il existe une corrélation de Spearman positive dans les horizons de surface de nombreux sols de savane, entre la valeur du rapport C/N, la teneur relative en acides humiques gris de l'extrait pyrophosphate, et leur degré de polymérisation. Le C/N est donc lié à l'évolution de la matière organique; de même, il diminue rapidement en profondeur, en même temps que la décomposition de la matière humique et sa dépolymérisation.

3. CAUSES DE L'ÉVOLUTION DES MATIÈRES HUMIQUES

Action de la texture

Dans les régions sèches, en sols sablo-argileux drainés, l'augmentation du taux d'éléments fins qui accroît la réserve en eau, favorise l'accumulation de matière organique totale, mais diminue le rapport C/N et le taux d'acides humiques gris; par contre, dans les climats contrastés intermédiaires, en sols plus argileux provenant de schistes et roches basiques, l'accroissement des éléments fins s'accompagne d'une élévation parallèle du taux de matière organique, du rapport C/N et du taux relatif d'acides humiques gris; il y a dans ce cas effet de protection par l'argile, signalé antérieurement.

Action de l'humidité et de la sécheresse

En climat sec, il existe une corrélation de Spearman positive (H. LEROUX 1980) entre la teneur relative en débris végétaux non décomposés extraits du sol par densité, et la teneur relative de l'humus en acides humiques gris; ces valeurs sont d'autant plus élevées que les sols sont plus sableux.

En revanche, en climat plus humide, on observe la formation d'acides humiques migrant davantage à l'électrophorèse, donc avec un poids moléculaire plus faible et une charge électrique plus élevée. Il semble donc que les matières végétales donnent naissance assez rapidement à des molécules humiques fortement condensées, ces dernières se stabilisant dans les climats secs par déshydratation, mais aussi en raison de la courte période de décomposition; par contre, dans les climats humides, il se produit une évolution progressive des acides humiques vers des formes de moins en moins condensées et de plus en plus oxydées (acides humiques gris migrants et acides humiques bruns).

4. ÉTUDE DE LA RÉPARTITION DES FRACTIONS HUMIQUES DANS LES SOLS TROPICAUX

1. Généralités sur les méthodes d'analyse

Une des méthodes de caractérisation des humus est la détermination quantitative et qualitative d'un certain nombre de fractions qui sont séparées soit par des procédés chimiques, soit des procédés physiques.

Les méthodes chimiques consistent en épuisements successifs et séquentiels, par des réactifs différents, d'abord acides, puis complexants et alcalins, puis fortement alcalins non complexants. Les extractions se font d'abord à froid sans destruction du support minéral, puis après des prétraitements plus ou moins énergiques qui éliminent les sesquioxides et l'argile. On obtient ainsi des fractions de l'humus de poids moléculaire croissant et présentant des forces de liaison de plus en plus fortes avec le support minéral.

Les méthodes physiques sont appliquées aux fractions pour déterminer leur poids moléculaire : électrophorèse, filtration sur gels Sephadex, absorption en lumière visible à différentes longueurs d'onde (400-500-600-700 nanomètres).

De même, certaines propriétés de la molécule humique, comme les fonctions périphériques (chaînes aliphatiques, fonction acides carboxyliques et acides phénols), les liaisons aromatiques ou protéiques, sont décelables sur les spectres infrarouges, ainsi que les complexes métalliques.

Enfin des dosages chimiques, par analyse élémentaire (CHNO), titration directe de la capacité d'échange, analyse après hydrolyse, des molécules de base, ou des formes de l'azote, permettent de cerner les propriétés principales des produits extraits. Il reste enfin des méthodes plus complexes (isotopiques et spectroscopiques) utilisées dans certains laboratoires spécialisés.

Parmi les méthodes de fractionnement humique, de BOISSEZON (1973) rappelle certains résultats obtenus avec la méthode Tiurin, qui est l'une des plus anciennes, mais plus guère utilisée aujourd'hui. De même, la méthode DUCHAUFOUR et JACQUIN (1966) a été exploitée pour l'étude des sols tropicaux, en particulier par PERRAUD (1970).

Depuis 1971, les laboratoires O.R.S.T.O.M. utilisent une méthode simplifiée inspirée des deux méthodes précédentes, dont nous donnons ci-après les principes essentiels et quelques résultats.

2. Méthode de fractionnement de l'humus

2.1. PRODUITS SOLUBLES

(a) Technique d'extraction

Sur le sol broyé et tamisé à 0,5 mm, on fait un premier traitement à l'acide phosphorique 2 M qui sépare par densité les matières organiques non décomposées dites « matières légères » et qui dissout une fraction d'acide fulvique appelé acide fulvique « libre » ou mobile.

Sur le culot lavé à l'eau, un second traitement au Pyrophosphate de soude 0,1 M à pH = 9,8 extrait les acides humiques fixés sur le complexe absorbant du sol, et une fraction d'acides fulviques, liés à ces acides humiques.

Enfin, après épuisement par le réactif précédent, le sol est traité par la soude 0,1 N à froid, également jusqu'à épuisement, pour extraire une fraction d'acides humiques solubles à pH élevé, et une fraction d'acides fulviques liés à ce résidu.

On obtient donc six fractions : matières légères, acides fulviques libres, acides humiques et fulviques de l'extrait pyrophosphate, acide humique et fulvique de l'extrait soude. Le résidu insoluble lié à la matière solide s'appelle « humine ».

(b) Nature des produits extraits

1° *Les acides humiques.* Une extraction séquentielle du même genre a été utilisée par SWIFT et POZNER (1976) sur des produits de décomposition de végétaux, au cours d'un essai de longue durée. Les différentes mesures (titration directe, spectre infra-rouge, formes de l'azote, etc.) ont montré que les extraits au pyrophosphate présentaient une acidité carboxylique croissant avec le temps, et supérieure à celle des extraits à la soude, donc un degré d'oxydation plus avancé, avec formation de complexes métalliques.

Le poids moléculaire a par contre tendance à diminuer par rapport à l'extrait à la soude; de même, la teneur en azote total et α aminé, qui est maximum dans l'extrait à la soude aux premiers stades de la condensation humique diminue avec le temps dans les extraits au pyrophosphate.

Toutes les mesures que nous avons effectuées par électrophorèse, montrent que les extraits dans la soude contiennent une majorité d'acides humiques gris très peu migrants, dont le degré de condensation élevé peut être mesuré empiriquement par le rapport d'extinction en lumière visible $\frac{625 \text{ nm}}{512 \text{ nm}}$ qui varie de 0,7 à 0,5 pour les acides humiques gris et de 0,5 à 0,3 pour les acides humiques bruns, montrant des degrés de condensation très variables. Compte tenu de ces résultats, on peut par convention appeler les acides humiques de l'extrait à la soude, acides humiques de « condensation », et les acides humiques de l'extrait au pyrophosphate, acides humiques « de maturation ou d'oxydation ».

2° *Les acides fulviques*. Les réactifs d'extraction séparent trois types d'acides fulviques :

Acides fulviques libres. Le réactif acide phosphorique dissout une quantité variable d'acides fulviques appelés « libres » ou « mobiles ». C'est leur répartition dans le sol qui tend à prouver cette mobilité, en particulier dans les podzols tropicaux : ils sont pratiquement éliminés de la surface par lessivage ; par contre, dans l'horizon B d'accumulation, cette fraction représente plus de 50 % du carbone total, et n'a pas d'autre origine que celle de l'illuviation (rapport 1 à 20 en valeur absolue entre surface et profondeur).

Dans les sols ferrallitiques du Brésil, VOLKOFF et FLEXOR (1978) montrent que le $\delta C 13$ de ces acides fulviques demeure élevé et relativement constant entre la surface et la profondeur, alors qu'il varie pour les autres fractions. Dans les humus en formation (DABIN 1976), cette fraction est relativement abondante, et semble donc se former précocement.

En Côte d'Ivoire, les résultats obtenus pour le pourcentage des différentes fractions dans un humus jeune sont les suivants : humine 82 %, acides fulviques de l'extrait soude 8,4 %, acides fulviques libres de l'extrait phosphorique 4,6 %, acides humiques de l'extrait soude 2,9 %, acides fulviques de l'extrait pyrophosphate 1 %, acides humiques de l'extrait pyrophosphate 0,66 %, matières végétales 0,25 %.

Acides fulviques soude. Une autre fraction d'acide fulvique, séparée des acides humiques du dernier extrait à la soude, est également très abondante dans l'humus jeune. Elle vient en second lieu après l'humine qui semble le premier produit formé (sans doute humine héritée). De même, cet extrait à la soude est abondant dans les sols récemment enrichis en matières organiques ; il diminue rapidement en profondeur du sol, et lorsque le sol est cultivé sans enrichissement organique. Le rapport d'extinction en milieu liquide 400/600 montre qu'il s'agit de

molécules de petite taille, très peu polymérisées (VOLKOFF 1978). Tous ces résultats tendent à prouver que l'on a affaire à des produits solubles provenant de la décomposition des matières végétales ; on peut penser que l'hydrolyse par la soude accroît artificiellement leur proportion ; néanmoins, ils ne sont présents que dans certaines conditions et l'on peut les considérer comme des produits « précurseurs ».

Acides fulviques pyrophosphate. La fraction d'acide fulvique, séparée de l'extrait pyrophosphate, représente généralement la fraction AF la plus importante, excepté dans l'humus jeune où elle est très faible, ainsi d'ailleurs que l'acide humique du même extrait. Cette fraction augmente généralement en profondeur, et dans les sols épuisés par la culture, elle varie en sens inverse des acides fulviques soude (DABIN 1976). On peut donc la considérer comme une fraction de décomposition des acides humiques auxquels elle se trouve liée. Les travaux de SCHNITZER montrent que ces acides fulviques ont une composition chimique très voisine des acides humiques, mais sont plus oxydés, et ont un poids moléculaire plus faible. Ce sont donc des acides fulviques liés, d'oxydation.

2.2. PRODUITS INSOLUBLES (humine)

L'humine est la matière organique humifiée qui subsiste dans le résidu insoluble, après toutes les extractions successives à froid.

Cette humine représente en moyenne 50 % du carbone total (de 30 % à 80 %). Plusieurs auteurs ont présenté des méthodes de séparation (DUCHAUFOUR-PERRAUD 1970 ; VOLKOFF 1977). L'humine dite de *précipitation* ou d'insolubilisation, est séparée par la soude après plusieurs prétraitements énergiques (acide sulfurique 2 N à chaud, acides chlorhydrique et fluorhydrique N à chaud) ; ces prétraitements éliminent les hydroxydes et l'argile qui fixent l'humine de précipitation. L'humine dite *héritée* est séparée par densité sur le résidu. C'est donc une matière légère, proche des matières végétales en décomposition ; elle est soluble dans le Bromure d'acétyle. Enfin l'*humine évoluée* est le résidu carboné totalement insoluble dans tous les réactifs.

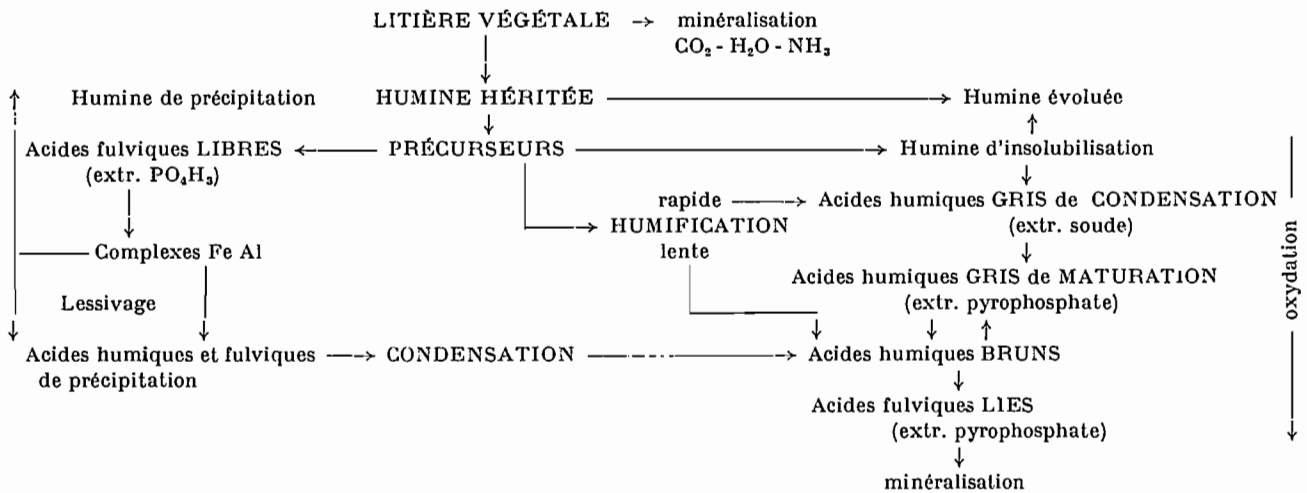
Toutes les fractions ainsi extraites n'ont peut-être pas d'existence réelle, en tant que substances chimiques bien définies, mais elles sont suffisamment reproductibles dans des conditions données et correspondent à des comportements de la matière humique qui sont caractéristiques des différents types de sol.

2.3. RÉSULTATS OBTENUS

Une synthèse est encore actuellement prématurée, d'autant plus que des études d'évolution sous

TABLEAU I

Schéma général de formation des humus tropicaux



Humification directe : rapide.
Humification indirecte : lente.

culture sont en cours (TURENNE, MOREAU, FELLER). Cependant, de nombreuses analyses ont été réalisées depuis 1971 sur des types de sols variés, en Guyane et aux Antilles par TURENNE (1975, 1977), au Brésil par VOLKOFF et CERRI (1977, 1978, 1980), en Afrique par DABIN (1976) et de nombreux pédologues O.R.S.T.O.M. Plusieurs thèses ont été consacrées à l'étude de l'humus des sols des régions chaudes, NEGARESTAN (Iran et Niger, 1970); DEKADJEVI (Togo, 1974); SOURABIÉ (Haute Volta, 1979); H. LEROUX (Côte d'Ivoire, 1980), pour ne citer que quelques travaux réalisés sur les sols tropicaux. Les sols des pays méditerranéens ont été étudiés par POUGET (Algérie); DELHOUME (Tunisie), mais nous limiterons nos exemples aux régions tropicales.

Comparaison des humus tropicaux et des humus tempérés

Nous avons cherché à utiliser un plan comparable à celui présenté par DUCHAUFOUR dans sa classification biochimique des humus (1977), où il sépare : des humus peu évolués, riches en matières végétales non décomposées, en humine héritée, et en produits humiques peu polymérisés et plus ou moins mobiles; et des humus évolués, soit par évolution biologique dominante, soit par évolution bioclimatique dominante, avec moins de litière, davantage de produits humiques polymérisés et d'humines d'insolubilisation ou évolués.

En réalité c'est surtout au niveau des humus évolués de type andique ou de type vertique que nous avons pu trouver des rapprochements entre humus tempérés et humus tropicaux, et aussi dans le cas de certains humus à évolution modifiée par hydromorphie lorsque cette action est importante.

Par contre, dans tous les milieux normalement drainés ou dans les sols hydromorphes qui subissent des stades de dessiccation, l'existence de types d'humus « peu évolués » est très rare, et les différents humus évolués ou mull tropicaux ont des caractéristiques particulières qui ne correspondent pas aux humus décrits précédemment.

5. QUELQUES EXEMPLES DE TYPES D'HUMUS DANS DES SOLS TROPICAUX NORMALEMENT DRAINÉS

1. Caractéristiques morphologiques

Les humus sont subdivisés en deux grandes catégories :

- I. Humus des sols sous climat chaud et humide.
- II. Humus des sols sous climat contrasté.

Dans la catégorie I, les sols ont été classés dans un ordre approximatif de décomposition croissante de l'humus :

- Podzol tropical.
- Sol ferrallitique humifère.
- Sol lessivé tropical sur calcaire.
- Sol ferrallitique typique et fortement désaturé.

Dans la catégorie II, les sols ont été classés dans l'ordre de sécheresse croissante du climat, amenant en sens inverse un obstacle à la décomposition :

- Sol ferrallitique faiblement désaturé.
- Sol ferrugineux tropical lessivé.
- Sol ferrugineux tropical non lessivé.

Il est très difficile de différencier les humus tropicaux, du moins dans les sols normalement drainés, sur la base des caractères morphologiques, car on a affaire le plus souvent à des humus de type Mull avec une litière très peu épaisse, sinon inexistante, qui repose sur un horizon minéral où l'humus est bien décomposé et fortement incorporé.

Les critères principaux sont liés à l'intensité d'accumulation humique qui se manifeste par la couleur de l'horizon, éventuellement par sa structure, et par la pénétration humique en profondeur qui est aisément décelable. Dans les sols les plus sableux, comme les podzols, les sols ferrallitiques lessivés, les sols ferrugineux très sableux, on peut déceler à l'œil des débris organiques peu décomposés, ou des agrégats humiques dans certains cas. Une étude plus fine à la loupe ou au microscope permettrait peut-être de décrire des caractères micromorphologiques, mais elle n'a pas toujours été faite.

Le *podzol tropical* présente un horizon A_1 très coloré, riche en matière organique bien décomposée, sur une épaisseur d'environ 15 à 20 cm. Par contre, la litière est peu épaisse, bien que relativement plus importante que dans d'autres sols tropicaux. Le substratum est très sableux. L'horizon d'accumulation B ou « alios » est très caractéristique et voisin de celui des podzols tempérés, et présente une induration nette, avec un ciment humique de couleur noire.

Le *sol ferrallitique humifère* possède lui aussi une litière superficielle peu épaisse; par contre, l'horizon humifère A_1 peut avoir jusqu'à 1 m d'épaisseur dans un substratum relativement argileux. La couleur brun très foncé, dans les 30 premiers centimètres, due à une richesse en humus élevée, s'éclaircit progressivement jusqu'au brun-jaune foncé vers 1 m; la structure est grumeleuse sur toute l'épaisseur.

Le *sol lessivé sur calcaire*, est un profil peu épais, le calcaire apparaissant à 1 m de profondeur. Il y a peu ou pas de litière; l'horizon humifère, assez riche en matière organique, à une vingtaine de centimètres d'épaisseur; il est brun sombre, avec une texture sablo-argileuse et une structure grumeleuse, puis il passe progressivement à brun-jaune, argilo-sableux,

puis rouge-jaune, nettement argileux, au-dessous de 0,40 m. Il apparaît un fort gradient d'argile et de fer en profondeur; quant à l'humus, il disparaît rapidement au-dessous de 0,20 m.

Le *sol ferrallitique typique ou fortement désaturé* montre également une litière très peu épaisse en sol sableux, et inexistante en sol argileux. L'horizon A_1 humifère, observable en raison de sa couleur plus sombre, n'a pas plus de 5 ou 8 cm d'épaisseur; on passe ensuite progressivement à des horizons de couleur beige, jaune ou rouge jaune, suivant le type de sol.

Le *sol ferrallitique faiblement désaturé* est également pauvre en litière mais montre un horizon A_1 humifère plus épais que le précédent, jusqu'à 15 ou 20 cm, apparemment plus foncé et plus riche; au-dessous, la disparition de l'humus est également rapide, pour faire place aux horizons de couleur généralement rouge vif. La texture de l'horizon humifère est argilo-sableuse et sa structure grumeleuse.

Les différents sols ferrallitiques peuvent être appauvris en surface, mais ne présentent pas d'horizons d'illuviation très tranchés en profondeur.

Le *sol ferrugineux tropical lessivé* a un horizon humifère d'une vingtaine de centimètres d'épaisseur; la texture peut être variable, de sablo-argileuse à argilo-sableuse; la structure a un aspect massif plus ou moins cohérent; on observe d'assez nombreuses racines de graminées.

La couleur passe du beige en surface au jaune-rouge en profondeur; l'horizon humifère est assez bien tranché; on observe un net gradient de texture et d'accumulation d'oxydes en profondeur.

Le *sol ferrugineux tropical non lessivé*. Bien que pauvre en matière organique, ce sol présente une pénétration humique qui colore le substratum sableux jusque vers 35 cm; la couleur passe du beige un peu foncé en surface au beige clair en profondeur; la structure est particulière et peu cohérente; on observe de nombreux débris de racines dans la masse de l'horizon A_1 . L'horizon de profondeur, au-dessous de 0,50 m, est légèrement coloré en ocre par des oxydes de fer.

2. Caractéristiques physico-chimiques des sols tropicaux (dans les milieux normalement drainés)

2.1. HUMUS DES CLIMATS CHAUDS ET HUMIDES (forêt tropicale)

(a) *Sol à humification directe*, avec condensation forte et maturation moyenne des acides humiques, et très forte migration des produits solubles. Précipitation en profondeur des produits de migration.

TABLEAU II
Pourcentages relatifs des différentes fractions humiques. % du C total

Prof. cm	Matières légères végétales	Acides fulviques soude (Précurseurs)	Acides fulviques libres mobiles	Acides fulviques liés-pyro-oxydation	Acides humiques Pyromaturation	Acides humiques soude Condensation	Humine totale	C total ‰	
<i>Podzol tropical</i>									
Surf. 0-10	5,94	4,03	0,36	1,05	11,3	24,09	50	(BRÉSIL)	113
Prof. 120	1,15	1,19	47,76	2,86	8,68	0,79	34		25
<i>Sol ferrallitique humifère</i>									
0-10	2,48	2,28	11,69	5,78	19,35	4,98	50	(BRÉSIL)	56
20	1,48	1,70	18,49	5,5	16,81	3,29	50		35,8
40	2,65	2,9	17,03	6,4	12,9	1,77	55		19,2
60	1,77	4,19	18,14	6,77	9,75	1,12	56		12,4
90	0,92	4,96	20	7,99	6,9	0,64	56		9,3
<i>Sol ferrallitique typique</i>									
0-10	2,9	18	4,9	13,2	9,7	11	41	(CAMEROUN)	15,4
25-30	ε	17,6	9	16,5	8,7	7,2	38		6,7
60-90	ε	22,5	17,4	16,5	1,9	2,85	39		6,29
<i>Sol lessivé sur calcaire</i>									
0-15	1,93	8,72	4,59	3,94	6,59	3,73	70,48	(BRÉSIL)	48,7
36-90	0,38	7,9	17,3	2,8	0,96	0,96	69,7		5,18
<i>Sol ferrugineux tropical lessivé</i>									
0-15	12,8	5,24	4,49	4,87	9,36	4,12	59,18	(HAUTE VOLTA)	2,67
30-40	5,3	10,23	7,2	6,82	4,17	0,76	65,5		2,64
<i>Sol ferrugineux tropical non lessivé</i>									
Ac. fulv. lib.+Pyro Ac. Hum. Pyro									
0-20	20			6	8		66	(NORD CÔTE D'IVOIRE)	5
30-40	23			6	9		62		2

PODZOL TROPICAL (Forestier) (tabl. II et III)
(fig. 1 et 2)

Horizon supérieur — Litière moyenne à faible.
— Humine en proportion moyenne de type hérité.
— Forte proportion d'acides humiques de condensation à poids moléculaire élevé.
— Proportion moyenne de précurseurs.
— Très peu d'acides fulviques mobiles (lessivés).

Horizon B

— Proportion considérable (plus de la moitié du carbone) d'acides fulviques mobiles (ou libres) précipités par les ions complexants.
— Proportion moyenne d'acides humiques de maturation peu polymérisés (acides humiques bruns).
— Proportion faible d'humine de précipitation.

(b) Sol à humification directe, avec forte maturation et pénétration en profondeur, d'acides humiques de

TABLEAU III

*Quelques résultats d'électrophorèse des acides humiques
Pourcentage relatif des différentes fractions. Rapport des densités optiques
des fractions aux longueurs d'onde 625 mm et 512 mm*

<i>Podzol Tropical (Surface)</i>						
	<i>Extrait Pyrophosphate</i>			<i>Extrait Soude</i>		
0-10 cm	Acides humiques gris	Intermédiaire	Acides humiques bruns	Acides humiques gris	Intermédiaire	Acides humiques bruns
% de AH	63 %	12,5 %	24,5 %	74 %	7 %	19 %
QE = $\frac{625}{512}$	0,68		0,45	0,70		0,42
<i>Podzol Tropical (Profondeur)</i>						
	<i>Extrait Pyrophosphate</i>			<i>Extrait Soude</i>		
120 cm	Acides humiques gris	Intermédiaire	Acides humiques bruns	Acides humiques gris	Intermédiaire	Acides humiques bruns
% de AH	50 %	19 %	31 %	extrait insuffisant		
QE = $\frac{625}{512}$	AHG+1 0,57		0,47			
<i>Sol ferrallitique humifère (Surface)</i>						
0-10 cm						
% de AH	59,5 %	12,5 %	28 %	71 %	9,5 %	19,5 %
QE = $\frac{625}{512}$	0,65		0,50	0,70		0,46
<i>(Profondeur)</i>						
20 cm						
% de AH	58,5 %	11,5 %	29 %	67 %	10 %	23 %
QE = 6/5	0,66		0,50	0,64		0,50
40 cm						
% de AH	61,5 %	11,5 %	27	extrait insuffisant		
QE = 6/5	0,69		0,50			
60 cm						
% de AH	61,5 %	12,5 %	26 %			
QE = 6/5	0,67		0,50			
90 cm						
% de AH	60 %	11	28,5 %			
QE = 6/5	0,66		0,50			
<i>Sol lessivé sur calcaire (Surface)</i>						
0-15 cm						
% de AH	39 %	10 %	51 %	48,5 %	8,5 %	43 %
QE = 6/5	0,54		0,50	0,57		0,47
extraits insuffisants Pyrophosphate et Soude en profondeur						

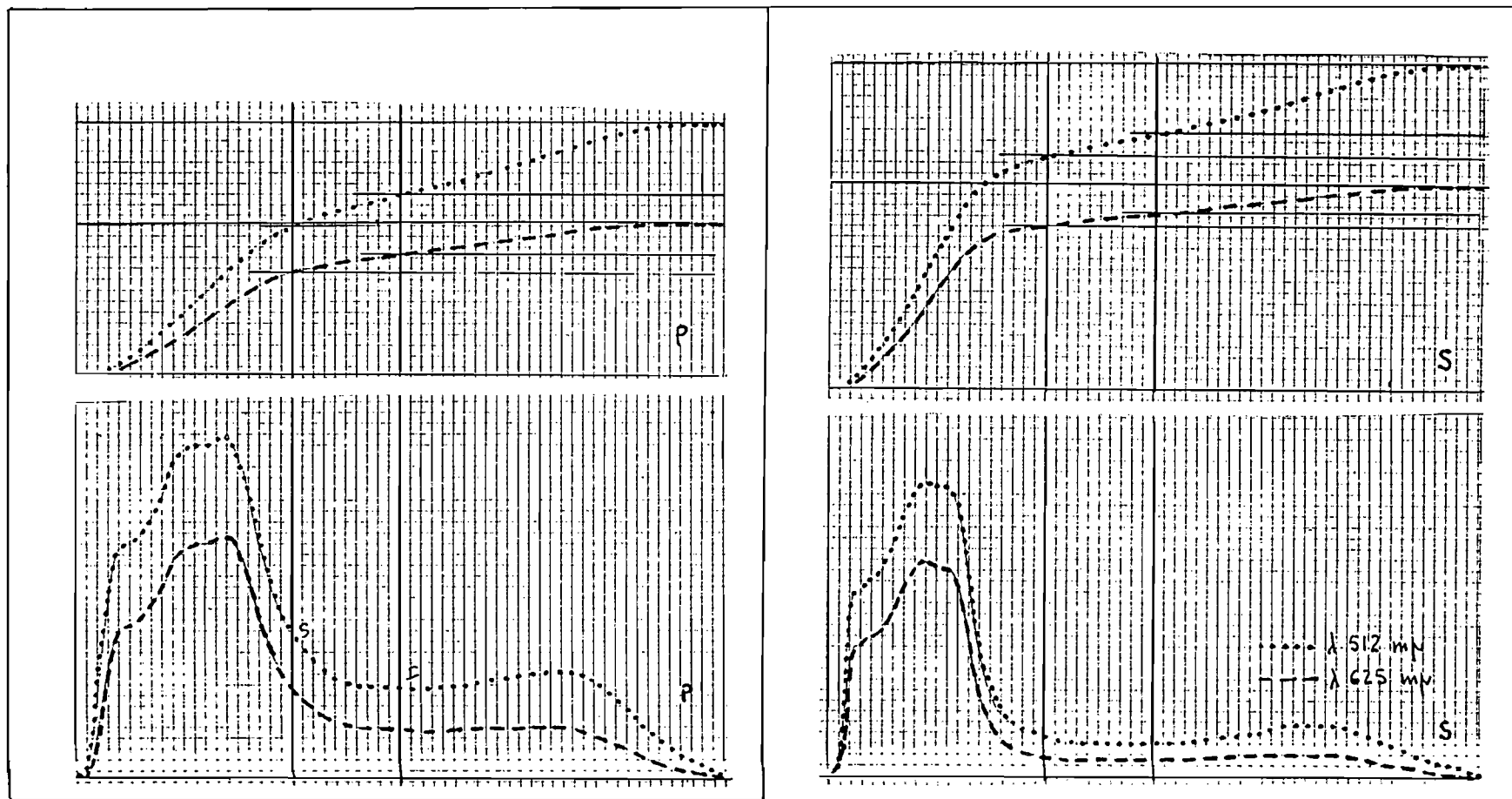


Fig. 1. — Type de sol : podzol tropical de nappe (Histic Tropaquod) Hor. A. (P : extrait pyrophosphate ; S : extrait Soude).

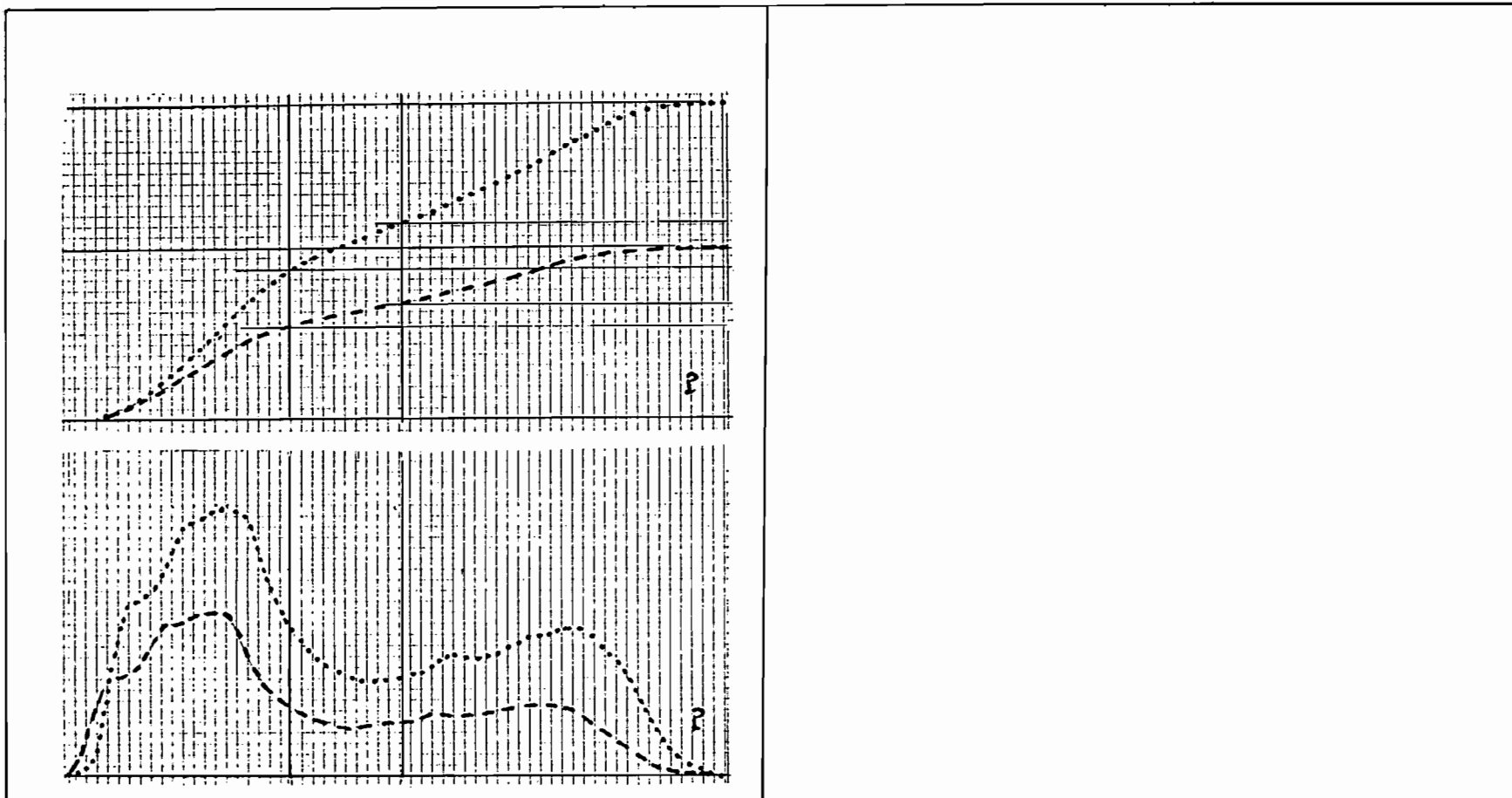


Fig. 2. — Type de sol : podzol tropical de nappe (Histic Tropaquod) Hor. B. Alios humique. (P : extrait pyrophosphate).

poids moléculaire élevé. Pénétration forte et progressive d'acides fulviques libres.

— Humine héritée abondante en surface, et humine de précipitation en profondeur.

SOL FERRALLITIQUE HUMIFÈRE (tabl. II et III)
(fig. 3 et 4)

- Surface — Litière moyenne, humine héritée abondante, dominance d'acides humiques gris à poids moléculaire élevé. Forte proportion d'acides fulviques libres.
- Profondeur — Pénétration continue de matière organique humifiée jusqu'à 1 m. Dominance d'acides humiques gris de maturation, et disparition des produits de condensation.
- Disparition de l'humine héritée, et augmentation de l'humine de précipitation.
- Proportion très forte, double de la surface, des acides fulviques libres liés aux métaux complexants (aluminium) dans un substratum argileux.

(c) Sol à humification ralentie en surface, mais à forte biodégradation et migration de produits solubles en profondeur.

SOL LESSIVÉ TROPICAL SUR CALCAIRE (tabl. II et III, fig. 11).

- Surface — Litière moyenne à faible ; très forte proportion d'humine héritée, précurseurs abondants, acides humiques bruns dominants.
- Profondeur — Disparition rapide de la matière organique ; très forte proportion relative d'acides fulviques libres ; très peu d'acides humiques peu condensés ; humine importante.

(d) Sol à humification directe rapide, avec très forte oxydation et dépolymérisation des produits de condensation humique, production importante et biodégradation en profondeur d'acides fulviques.

SOLS FERRALLITIQUES TYPIQUES ET FORTEMENT DÉSATURÉS (tabl. II, fig. 5)

- Surface — Litière faible, humine peu abondante avec dominance d'humine héritée et humine de précipitation.
- Forte proportion de produits alcalinsolubles, acides humiques de condensation et acides humiques de maturation à faible poids moléculaire (acides humiques bruns) dans les sols argileux, et à poids moléculaire plus élevé (acides humiques gris) dans les sols sableux. Nette dominance des acides fulviques sur les acides humiques (rapport 1,5 à 2).
- Profondeur — Disparition rapide de la matière

organique et des acides humiques (surtout de condensation), diminution des poids moléculaires, augmentation relative des acides fulviques et de l'humine évoluée, disparition de l'humine héritée.

2.2. HUMUS DES RÉGIONS CHAUDES A CLIMAT CONTRASTÉ

(a) Limite forêt-savane

Humification directe moyenne, bonne condensation des acides humiques et forte maturation des produits moyennement polymérisés. Production équivalente d'acides fulviques mobiles, qui migrent et se biodégradent assez fortement en profondeur.

SOLS FERRALLITIQUES FAIBLEMENT DÉSATURÉS (fig. 10)

- Surface — Litière faible, humine plus abondante que dans les sols ferrallitiques typiques. Dominance d'humine évoluée sur l'humine héritée.
- Acides humiques de condensation et de maturation en proportion moyenne, avec dominance de produits polymérisés (acides humiques gris), mais plus d'un tiers d'acides humiques bruns.
- Acides fulviques en proportion équivalente aux acides humiques.
- Profondeur — Dépolymérisation et disparition rapide des acides humiques, augmentation relative des acides fulviques et de l'humine évoluée.

(b) Savane soudano-guinéenne

- Climat très contrasté. Saison humide et saison sèche de durée à peu près équivalente.
- Humus très fortement influencé par la végétation graminéenne de savane très ligneuse (C/N élevé).
- Quantité et qualité de la matière organique nettement corrélées au taux d'éléments fins du sol (argile et limon fin).
- Humification directe limitée par la durée de la saison humide, condensation et maturation des acides humiques ; début d'oxydation en saison des pluies puis déshydratation en saison sèche, avec formation de produits condensés résistant à la biodégradation.
- Produits solubles en quantité moyenne à faible, pouvant migrer pendant la saison humide.

SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX LESSIVÉS (tabl. II, fig. 7)

- Surface — Litière peu abondante, humine en proportion forte (60-70 %), davantage

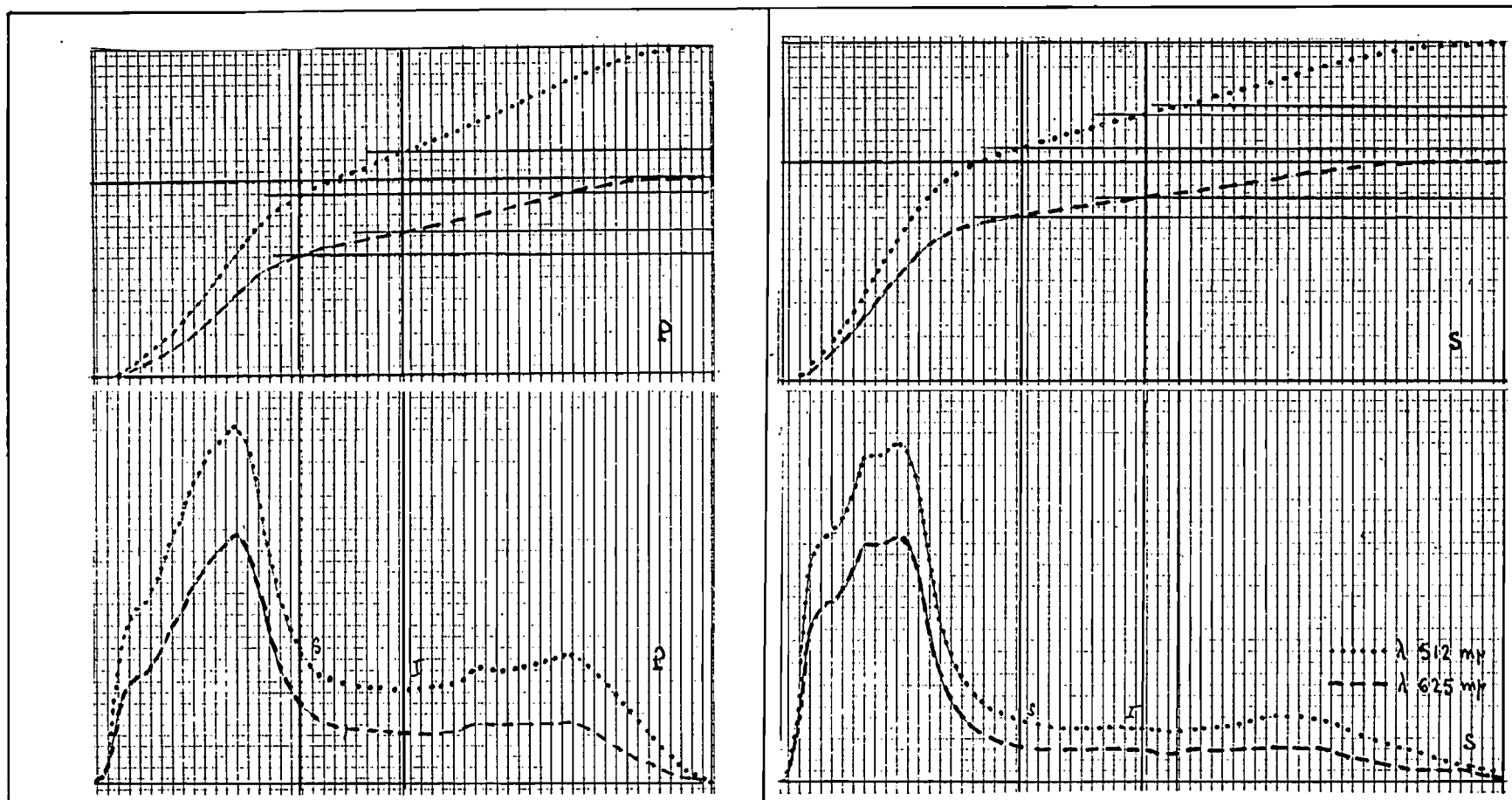


Fig. 3. — Type de sol : sol ferrallitique humifère (Umbriorthox) surface. (P : extrait pyrophosphate ; S : extrait Soude).

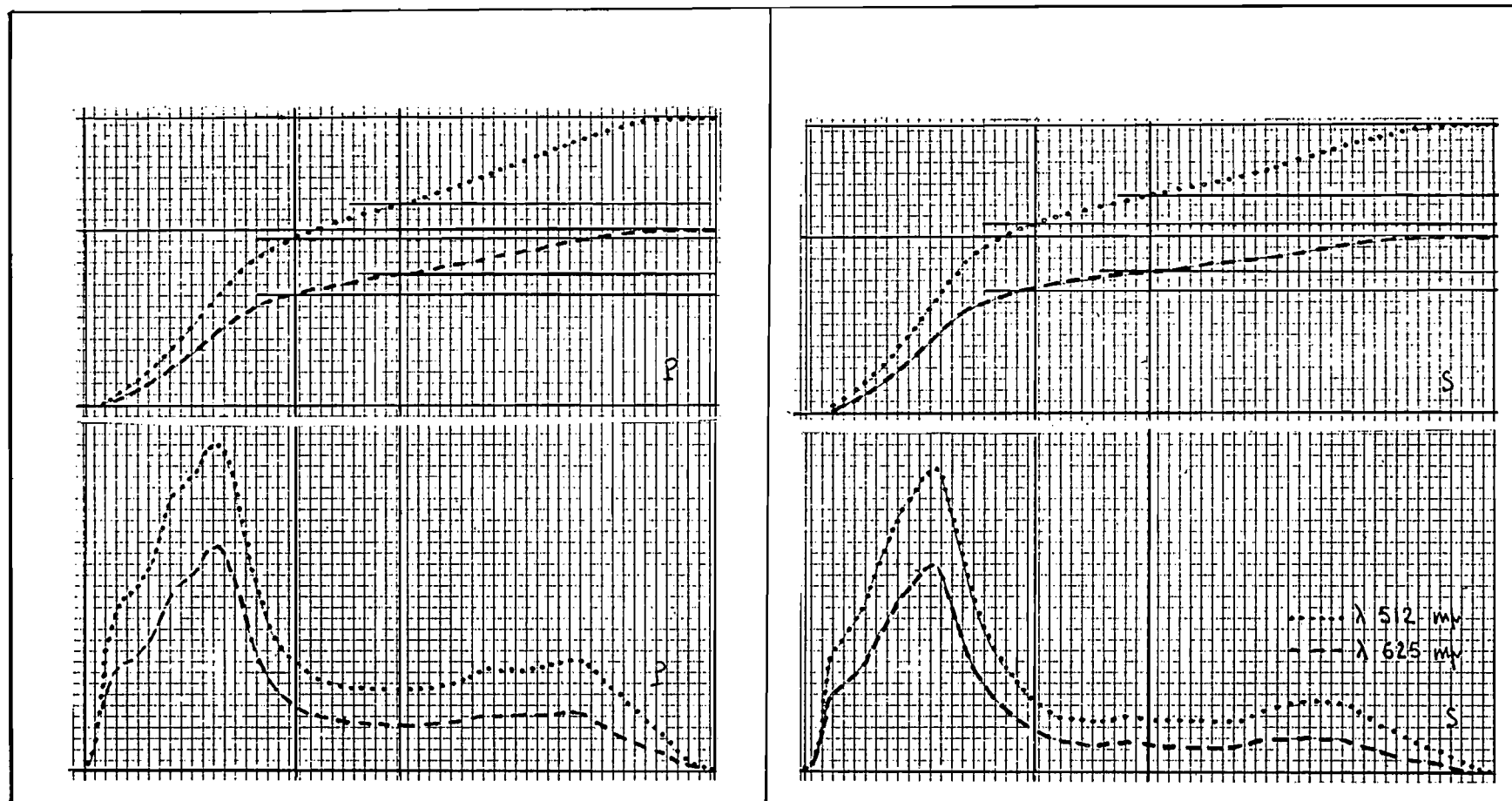


Fig. 4. — Type de sol : sol ferrallitique humifère (Umbriorthox) horizon sous-jacent. (P : extrait pyrophosphate ; S : extrait soude).

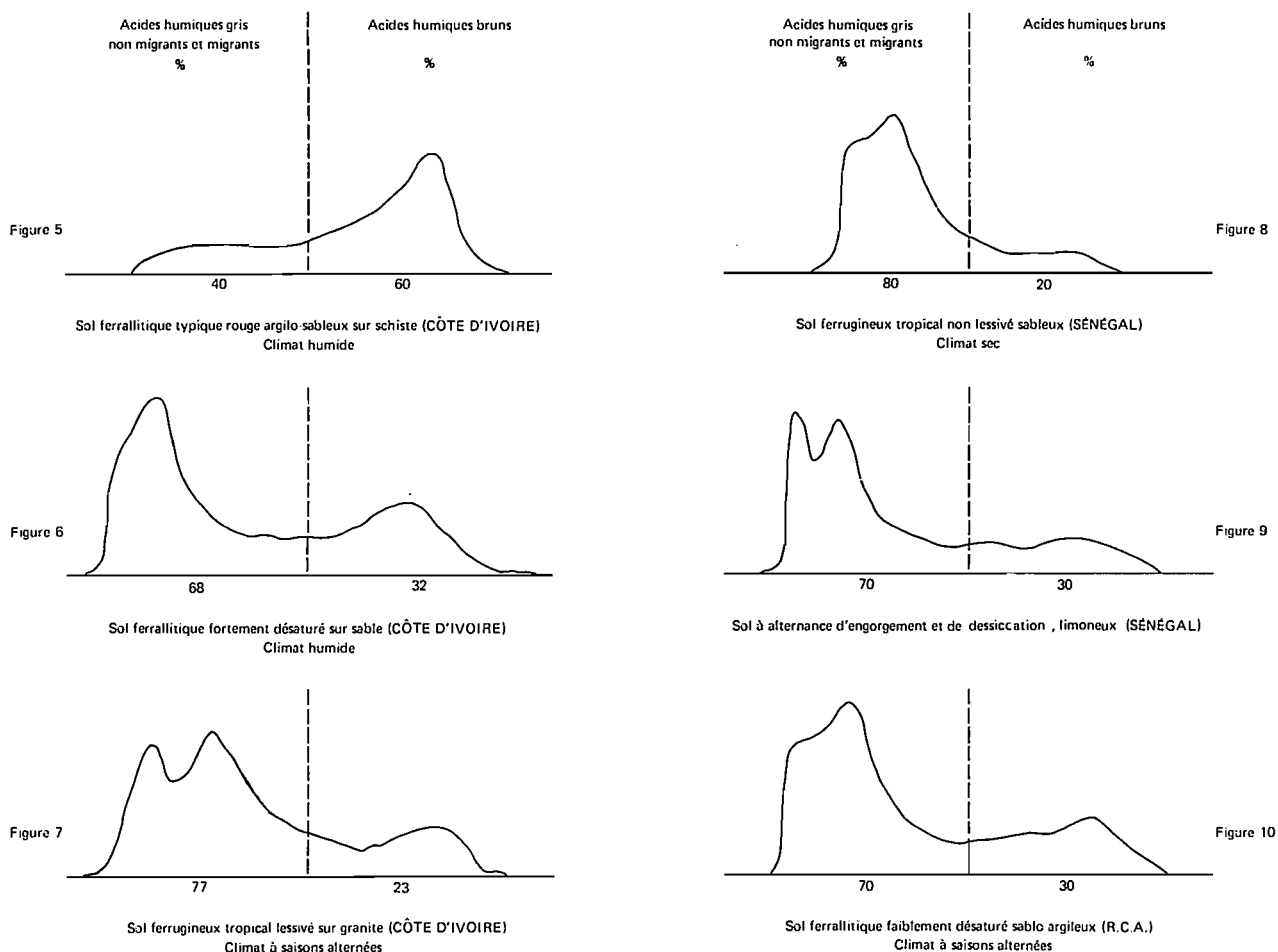


Fig. 5, 6, 7, 8, 9, 10. — Diagrammes d'électrophorèse. Évolution des acides humiques de maturation (extrait pyrophosphate) en fonction du climat et du substratum.

d'humine héritée dans les sols sableux
d'humine évoluée dans les sols
argileux.

- Produits humiques alcalino-solubles inférieurs à 30 % de C. Acides humiques en proportion supérieure ou égale aux acides fulviques, dominance des acides humiques gris sur les acides humiques bruns (moins de 30 % du total).
- Acides humiques gris dédoublés en une partie très condensée non migrante et une partie migrante moins condensée intermédiaire avec les acides humiques bruns — rapport C/N de 15 à 19 corrélé au taux d'acides humiques gris et à leur degré de polymérisation.

Profondeur

- Diminution régulière du taux de

matière organique et d'acides humiques, dépolymérisation des acides humiques, augmentation relative du taux d'acides fulviques surtout en saison des pluies.

(c) *Savane soudanaise*

Climat très contrasté. Saison sèche largement dominante sur la saison humide (pluviométrie inférieure à 1 000 mm).

Humus influencé par la végétation graminéenne et l'importance de la saison sèche. Faible teneur globale en matière organique. Humification directe de courte durée; condensation des acides humiques, puis déshydratation.

Maintien de débris végétaux, peu décomposés dans les sols sableux; peu de produits solubles.

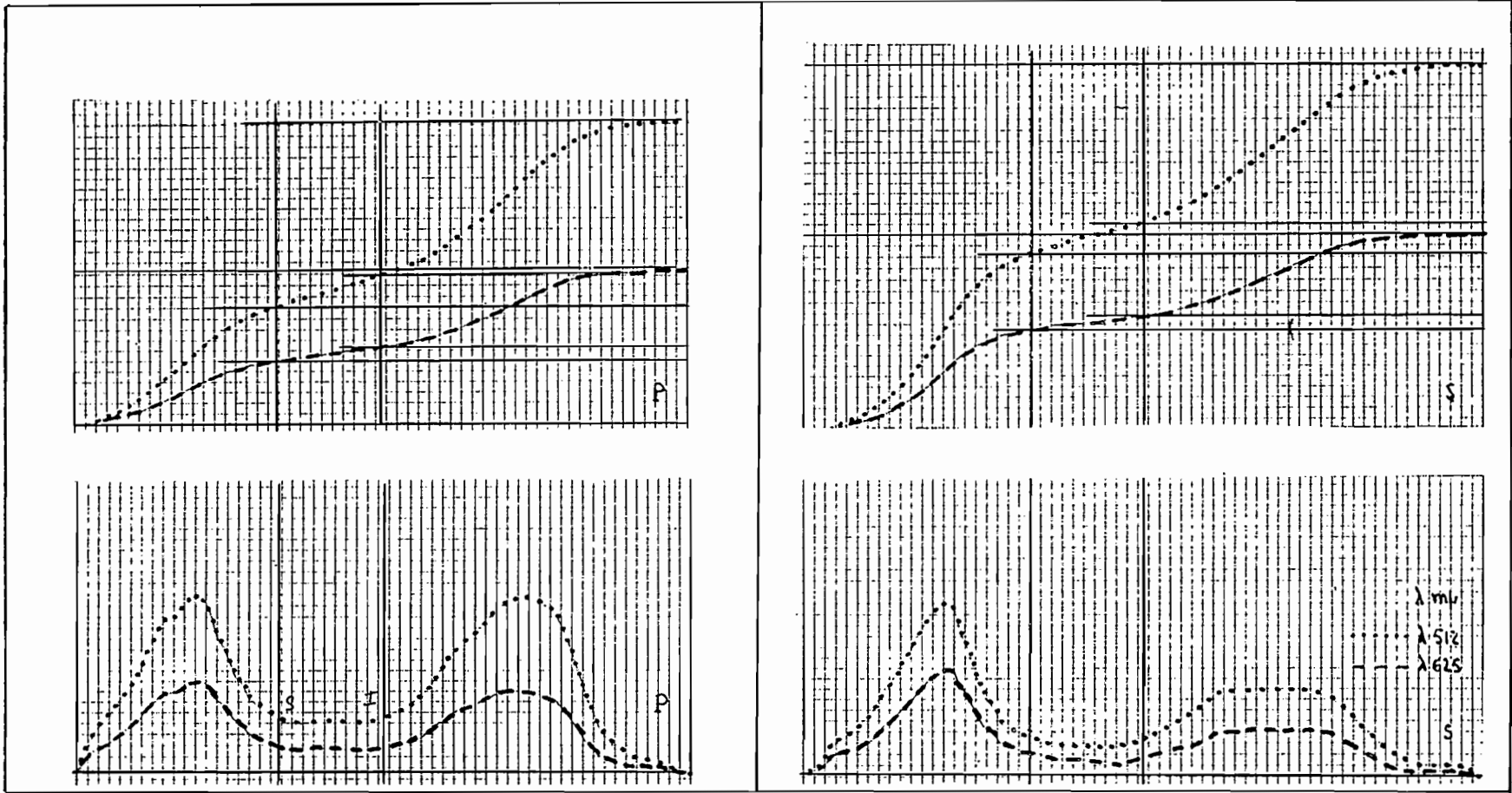


Fig. 11. — Type de sol : sol lessivé tropical sur calcaire (oxitropudalf). (P : extrait pyrophosphate ; S : extrait soude).

SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX PEU LESSIVÉS (tabl. II, fig. 8)

Surface

- Un peu de litière en surface. Nombreux débris végétaux dans l'horizon supérieur sableux.
- Humine très forte, supérieure à 70 %, à forte majorité d'humine héritée.
- Matières humiques alcalino-solubles peu abondantes (inférieures à 20 % C).
- Acides humiques gris très largement dominants sur les acides humiques bruns (inférieurs à 20 % AH). Fort degré de condensation des acides humiques gris (fraction non migrante unique).
- Proportion d'acides humiques gris et degré de condensation corrélés à la proportion de débris végétaux.
- Acides fulviques en faible proportion, moins de la moitié des acides humiques.

Profondeur

- Diminution progressive du taux de matière organique. Humine évoluée en proportion équivalente à l'humine héritée. Acides humiques fortement condensés, acides fulviques un peu plus abondants qu'en surface.

6. ESSAI D'INTERPRÉTATION

1. *Les humus formés sous climat humide* se caractérisent par l'apport important de résidus végétaux au sol; ces résidus se transforment rapidement, et donnent dans un premier stade de l'humine héritée fortement fixée sur l'argile, en particulier dans les couches supérieures du sol (tabl. I).

Dans un milieu constamment chaud et humide, généralement acide et normalement drainé, la ligninolyse est intense, ce qui donne, d'une part, des produits phénoliques solubles dont une partie fournit les *acides fulviques* libres susceptibles de migrer et de complexer les métaux; d'autre part, une autre fraction évolue simultanément vers des composés humiques de condensation, de poids moléculaire élevé, ce sont les *acides humiques gris* encore faiblement oxydés et solubles dans la soude. C'est ce que nous appelons humification directe ou rapide, par opposition à l'humification lente ou indirecte, qui donne en premier lieu des acides humiques de faible poids moléculaire (acides humiques bruns) (tabl. I).

Ces acides humiques gris de condensation que l'on dose en quantité relativement importante dans les couches supérieures du sol, se forment et se conservent en majorité dans l'horizon A₁ du podzol tropical (fig. 1). Ces acides humiques subissent des actions de maturation et d'oxydation qui sont plus ou moins poussées suivant les conditions de milieu. Les acides humiques de maturation et d'oxydation, solubles

dans le pyrophosphate de soude, se fixent sur les cations de l'argile pour former le complexe argilo-humique, mais sont diversement stabilisés selon les sols.

Dans le podzol sableux et pauvre en métaux, la stabilisation est médiocre en surface, mais se produit en profondeur dans l'alios (fig. 2); par contre, dans le sol ferrallitique humifère (fig. 3 et 4), la stabilisation des acides humiques de maturation est maximum sur l'argile relativement riche en aluminium échangeable, d'où la dominance en surface et en profondeur d'acides humiques fortement polymérisés de l'extrait pyrophosphate. Dans le sol ferrallitique typique (fig. 5), il n'y a pas de stabilisation, l'oxydation des acides de maturation se poursuit jusqu'au stade acides humiques bruns, et même acides fulviques liés; cette oxydation conduit donc à une forte dépolymérisation.

En ce qui concerne les acides fulviques, ils sont formés en abondance dans les trois sols, à partir des produits solubles; dans le podzol, la biodégradation est ralentie en raison de l'acidité, de la pauvreté chimique du sol et d'une partielle hydromorphie; il y a migration maximum en profondeur, avec précipitation dans un alios (fig. 2, tabl. II et III).

Dans le sol ferrallitique humifère, il y a également stabilisation des acides fulviques, mais ceux-ci ne migrent que partiellement et se fixent sur l'argile; ils sont dominants en profondeur et en proportion double de la surface (tabl. II et III).

Dans le sol ferrallitique typique, il y a également migration des acides fulviques, mais ces derniers sont rapidement dégradés au fur et à mesure qu'ils pénètrent; cependant, la dépolymérisation des acides humiques donne également des acides fulviques, et conduit à une dominance importante en surface, et plus encore en profondeur, des acides fulviques sur les acides humiques (tabl. II).

2. *Dans les climats plus secs à saisons alternées*, les sols reçoivent des quantités moindres de résidus végétaux, qui sont à dominance graminéenne, et ils sont soumis pendant la période humide et chaude à des processus d'humification directe, comparables à ceux décrits précédemment.

Suivant les régions, les acides humiques formés sont soumis à des processus de dessiccation plus ou moins précoces, qui donnent dans le sol des molécules fortement condensées et stabilisées par la déshydratation.

Lorsque l'humidité du sol se maintient plus longtemps, une partie des acides humiques est soumise à des processus d'oxydation et de dépolymérisation qui conduisent à la formation d'acides humiques gris migrant partiellement à l'électrophorèse, mais qui sont insuffisamment poussés pour

aboutir à la formation d'acides humiques bruns comme dans les régions humides; on a ainsi dans les climats intermédiaires des acides humiques gris présentant un double pic à l'électrophorèse (fig. 7) comme l'a signalé H. LEROUX (1980), alors que dans les climats particulièrement humides, on observe seulement une tache unique d'acide humique très condensé (fig. 6).

Dans les régions sèches, la proportion d'acides humiques gris et leur degré de condensation, ainsi que la valeur du rapport C/N, sont liés à la richesse relative en débris végétaux non décomposés qui augmentent dans les sols sableux. Il y a donc une limitation de la décomposition organique due à la sécheresse. Les acides fulviques sont en faible quantité, mais ils peuvent se former et migrer durant la saison des pluies, favorisant certains phénomènes de lessivage dans les climats à saisons alternées équilibrées (tabl. II).

La limitation de la décomposition organique conduit à un appauvrissement global de matière humique surtout dans les sols sableux.

Conclusion

Nous avons choisi de donner quelques exemples représentatifs de types d'horizons organiques que l'on rencontre dans les sols normalement drainés des régions tropicales humides ou à climat contrasté; nous avons montré, comme l'ont fait un certain nombre d'auteurs cités en référence, qu'il existe une relation entre le type de sol et la répartition des fractions de la matière organique, selon la méthode décrite dans cette note.

Les séparations physiques ou chimiques par des solvants variables, qui définissent certaines propriétés au point de vue fixation sur le composé minéral, sont complétées par des déterminations qualitatives (électrophorèse), fonction du degré de condensation des molécules humiques et de leur charge, la nature chimique réelle de ces molécules étant plus ou moins connue par les études réalisées dans des laboratoires spécialisés.

Il apparaît que la décomposition des matières végétales est toujours très importante en milieu bien drainé, même acide; seul l'accroissement de la saison sèche augmente le taux de matière non décomposée, mais provoque en même temps une forte diminution du taux de carbone total.

L'accroissement de ce taux de carbone dans les régions relativement humides semble lié au maintien dans le sol d'une grande quantité d'acides humiques

alcalino-solubles à fort degré de condensation. Ces molécules semblent se former assez précocement au cours des phénomènes d'humification, et elles sont ensuite plus ou moins rapidement dégradées suivant les sols, en molécules moins condensées; cette dégradation amène la disparition de l'humus, en particulier en profondeur.

L'augmentation du taux de matière organique dans les sols tropicaux dépend donc d'une part des conditions d'apport de végétaux, et de l'humification plus ou moins favorable, et ensuite de la résistance plus ou moins grande des produits humiques formés aux agents de dégradation.

Dans les climats humides à forte humification, il faut accroître les apports de matière végétale, et si possible diminuer la biodégradation en évitant l'érosion. Dans les climats secs au contraire, il faut favoriser l'humification en allongeant la durée de la période humide du sol pendant laquelle la matière organique se transforme, et compléter les apports organiques par des engrais minéraux, en particulier azotés.

Au point de vue de l'application pratique, TURENNE (1977-1980) aux Antilles, a démontré que les produits fortement condensés qui se forment au cours de l'humification sont riches en azote α -aminé, et agissent très favorablement sur la structure du sol. Par la suite, lors de la mise en culture, le taux d'agrégats diminue rapidement en même temps que le taux de N α -aminé: il y a passage à d'autres formes de N total qui diminue moins rapidement (N amide-N non hydrolysable).

Dans les sols des régions plus sèches au Sénégal, l'étude de l'humification des résidus, indispensables au maintien de la fertilité, a conduit C. FELLER (1977-1980) à mettre au point une méthode physique de fractionnement des matières organiques à des degrés d'humification variable: avec un compartiment d'entrée de matières végétales figurées, un compartiment de stockage à court terme, en cours d'humification, et un compartiment de réserves, qui sont les matières humifiées; ces compartiments correspondent à des diamètres de tamisage après agitation dans l'eau: supérieur à 0,2 mm, entre 0,2 et 0,05 mm et inférieur à 0,05 mm. Ces fractions sont analysées du point de vue chimique, biochimique, biologique, et même isotopique avec l'emploi de ^{14}C et ^{15}N . Ces études sur l'amélioration du stock organique sont encore en cours, mais l'intensité d'humification est un facteur essentiel de la fertilité des sols des régions sèches, et la voie résiduelle d'humification (humification directe) est prépondérante.

ANNEXES

Quelques limites d'interprétation concernant la méthode de fractionnement utilisée

	Très fort	Fort	Moyen	Faible	Très faible
Carbone total C ‰	> 50 ‰	25 à 50 ‰	10 à 25 ‰	5 à 10 ‰	moins de 5 ‰
<i>Fractions humiques en valeur relative du Carbone total</i>					
Humine totale	> 75 %	60-75 %	45-60 %	moins de 45 %	
<i>Pourcentage relatif du carbone de chaque fraction</i>					
Acides humiques et fulviques (5 fractions)	≥ 20 %	10-20 %	5-10 %	2,5 à 5 %	moins de 2,5 %
Matières végétales légères		> 10 %	5-10 %	2,5 à 5 %	moins de 2,5 %

BIBLIOGRAPHIE

- BOISSEZON (De P.), MOUREAUX (C.), BOQUEL (G.) et BACHELIER (G.), 1973. — Les Sols ferrallitiques. Tome IV. La matière organique et la vie dans les sols ferrallitiques. O.R.S.T.O.M., *Initiation/Documentation — Technique n° 21*, Paris, 1973.
- DABIN (B.), 1971. — Étude d'une méthode d'extraction des matières humiques du sol. *Sci. du Sol n° 1* : 47-63.
- DABIN (B.), 1976. — Méthode d'extraction et de fractionnement des matières humiques du Sol. Application à quelques études pédologiques et agronomiques dans les sols tropicaux. *Cah. O.R.S.T.O.M., Sér. Pédol.*, vol. XIV, n° 4, 1976.
- DABIN (B.) et THOMANN (C.), 1970. — Étude comparative de deux méthodes de fractionnement des composés humiques (Méthode TIURIN et méthode électrophorétique.) O.R.S.T.O.M., 1970. *Initiation/Documentation Technique n° 16*.
- DUCHAUFOR et JACQUIN, 1963. — Recherches d'une méthode d'extraction et de fractionnement des composés humiques contrôlés par électrophorèse. *Ann. Agron.* 19 (6), 1963.
- DUCHAUFOR (Ph.), 1977. — Pédologie. T. 1, Masson.
- DEKADJEVI (A.), 1974. — Contribution à la dégradation physico-chimique et chimique des Terres de Barre sous culture au Togo. Thèse, Paris VI, O.R.S.T.O.M., 1974.
- FELLER (C.), 1979. — Une méthode de fractionnement granulométrique de la matière organique des sols. Application aux sols tropicaux à textures grossières très pauvres en humus. *Cah. O.R.S.T.O.M., Sér. Pédol.*, vol. XVII, n° 4, 1979.
- FLEXOR (J. M.) et VOLKOFF (B.), 1977. — Distribution de l'isotope stable C13 dans la matière organique d'un sol ferrallitique de l'État de Bahia (Brésil). *C.R. Acad. Sci.*, Paris, 284 (D) : 1655-1657.
- FLAIG (W.), 1970. — Contribution à la connaissance de la constitution et de la synthèse des acides humiques. *Sci. du Sol n° 2*, 1970.
- LEROUX (H.), 1980. — Contribution à l'étude de la matière organique des sols sous forêts claires (savanes) de Côte d'Ivoire, en fonction des principaux facteurs naturels de pédogenèse. Thèse. Fac. d'Abidjan (Côte d'Ivoire), 1980, *multigr.* Abidjan.
- NEYROUD (Y. A.) et SCHNITZER (M.), 1976. — Sur la structure des acides humiques et fulviques du sol. *Colloque International sur les études concernant les matières organiques des sols*. Brunswick R.F.A., sept. 1976.
- NEGARESTAN (A.), 1970. — Contribution à l'étude comparative de la matière organique dans quelques sols isohumiques ou à tendance isohumique d'Iran, du Maroc, du Niger, de Tunisie. Thèse Fac. des Sci. de Paris, 1970.

- PERRAUD (A.), 1971. — La matière organique des sols forestiers de la Côte d'Ivoire. Thèse, Univ. de Naney (1971), O.R.S.T.O.M., Paris, 1971.
- SOURABIÉ, nov. 1979. — Influence de la culture de la canne à sucre sur les sols de Beregadougou (Haute-Volta). Cas particulier des facteurs de fertilité liés à la matière organique. Thèse (3^e cycle). Fac. Aix-Marseille, *multigr.* O.R.S.T.O.M., 1979.
- TURENNE (J.-F.), 1975. — Modes d'humification et de différenciation podzolique dans deux toposéquences guyanaises. Thèse Sc. Nat. O.R.S.T.O.M., Paris : 185 p. Mémoires O.R.S.T.O.M., n° 0-4.
- TURENNE (J.-F.), 1977. — Matière organique et stabilité structurale en vertisols irrigués. Organisation du système humique. XIV^e Meeting Caribbean Food Crops Society, Guadeloupe-Martinique.
- VOLKOFF (B.) et ANDRADE (M.-J.), 1976. — Caracterização da materia organica de alguns solos ferralíticos do Estado da Bahia. Aplicação de um metodo de fracionamento das substancias húmicas. *Comp. Brasileira de Ciencia do Solo*, Campanas, 1975. *Sociedades Brasileira de Ciencia do Solo*, 1976.
- VOLKOFF (B.), FLEXOR (J. M.) *et al.*, 1978. — Natureza do Humus nos latossolos destróicos da Baba. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, 1978.
- VOLKOFF (B.), 1977. — La matière organique des sols ferrallitiques du Nord-Est du Brésil. *Cah. O.R.S.T.O.M., Sér. Pédol.*, 1977.
- VOLKOFF (B.) et CERRI (C.), 1978. — Quelques propriétés de l'humus d'un sol ferrallitique humifère sur granite du Parana (Brésil). *Sci. du Sol* n° 4, 1978.
- VOLKOFF (B.), MELFI (A. J.) et CERRI (C.), 1979. — Les sols sur roches cristallines formés sous climat sub-tropical humide au Brésil. *Cah. O.R.S.T.O.M., Sér. Pédol.*, vol. XVII, n° 3, 1979.
- VOLKOFF (B.) et CERRI (C.), 1980. — Comparação de um humus de um Solontchak, um rendzina et um solo litolico da Região semi-árida do Rio Grande-do-Norte. *Revista Brasileira de Ciencia do solo* : 49-56.
- ROOSE (E.) *et al.*, 1970. — Érosion, ruissellement et lessivage oblique dans une plantation d'hévéas de basse Côte d'Ivoire, O.R.S.T.O.M., I.R.C.A., 115 p. *multigraphies*.
- DELHOUME (J.-P.), BOTTNER (P.), 1980 (non diffusé). — Premiers résultats concernant l'évolution de la matière organique en milieu méditerranéen semi-aride ; à l'aide de matériel végétal uniformément marqué au C14 et N15.
- POUGET (J.), 1980. — Les relations sol végétation dans les steppes sud-Algérois. Thèse de Doctorat.