

LES ALIOS HUMIQUES DES PODZOLS TROPICAUX DU CONGO : CONSTITUANTS, MICRO- ET ULTRA- STRUCTURE

D. SCHWARTZ
B. GUILLET
G. VILLEMIN
F. TOUTAIN

Résumé

Les podzols développés sur sables Batéké sont caractérisés par d'épais horizons spodiques indurés en alios qui accumulent d'importantes quantités de substances humiques à C/N élevé. Certaines de leurs propriétés sont constantes sur toute leur épaisseur : quasi-absence du fer, importance de l'aluminium complexé accompagné de formes de type allophane en profondeur, forte extractibilité de la matière organique, prépondérance des acides fulviques sur les acides humiques. La matière organique est, dans l'ensemble des horizons spodiques, monomorphe, elle tapisse les grains du squelette et comble les pores. Des traits ultra-structuraux observés au microscope à balayage (MEB) ou à transmission (MET) différencient deux horizons B₂₂h et B₂₃h. En B₂₂h, les gels organo-aluminiques forment des particules sphéroïdales (environ 100 Å) qui s'agglomèrent pour donner des amas glomérulaires qui s'entassent et laissent une faible microporosité. En B₂₃h, les gels adhèrent aux argiles qui s'agencent pour donner une charpente plus poreuse. Les restes de parois bactériennes et fongiques sont bien plus abondante en B₂₂h qu'en B₂₃h et témoignent d'une intense activité biologique passée, brutalement interrompue.

Mots-clés

Podzols, hydromorphie, alios, aluminium, ultrastructure.

D. Schwartz - Orstom, B.P. 1286, Pointe-Noire, Congo.
B. Guillet, G. Villemin, F. Toutain - Centre de Pédologie Biologique
du C.N.R.S., B.P. 5, 54501 Vandoeuvre-les-Nancy Cédex, France.

ORSTOM Fonds Documentaire

179

N° : 26.204 ep

Cote : B

1. INTRODUCTION

Le centre de la République Populaire du Congo est occupé par le pays Batéké, vaste unité physique développée dans des formations

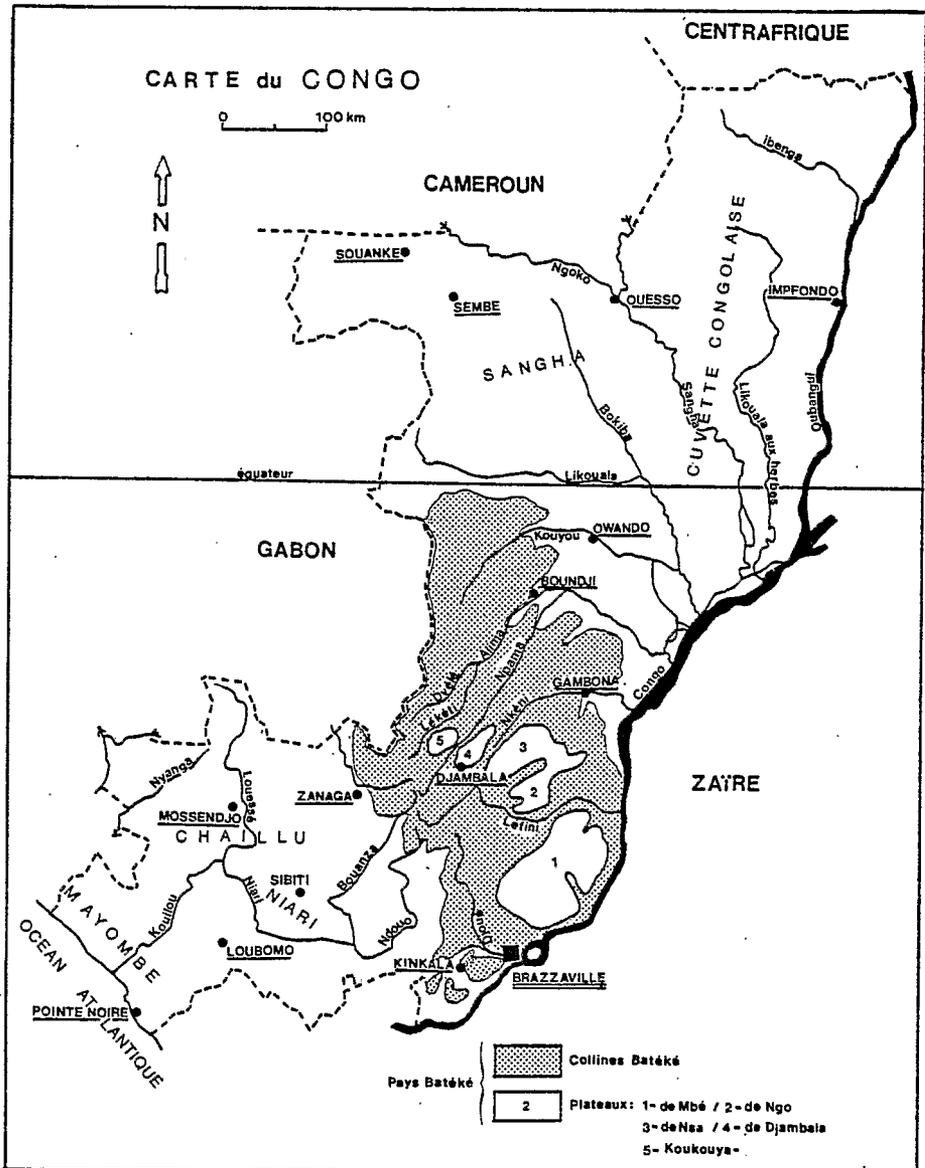


Fig. 1.

Situation géographique du pays Batéké en République Populaire du Congo.

continentales sableuses tertiaires et qui se prolonge vers l'Ouest, au Gabon, et vers l'Est au Zaïre (figure 1). Ce pays Batéké s'individualise en deux régions géomorphologiques différentes : une zone de plateaux, constituée de 5 unités de taille variée, à pente générale très faible (3 ‰), s'étage entre 850 et 600 m d'altitude. Ces plateaux, qui occupent moins de 20 % de la superficie régionale, sont prolongés par une zone de collines qui forment de vastes croupes arrondies et viennent mourir dans la cuvette congolaise au Nord, dans la région de Brazzaville, au Sud.

Les sols développés dans ces matériaux sableux sont essentiellement des Sols Ferrallitiques homogènes et profonds, à horizon B oxygène peu différencié de la roche-mère. Leur nature sableuse, ou sablo-argileuse, en fait des sols légers, à bonne porosité, mais leur confère une grande pauvreté chimique : ils sont fortement carencés, aussi bien en éléments majeurs qu'en oligo-éléments.

Les podzols sont des sols stationnels localisés dans les points bas des reliefs : dépressions fermées sur les plateaux, fonds de vallées ou terrasses alluviales dans la zone des collines. Ces podzols, déjà sommairement décrits par ailleurs (de Boissezon et Gras, 1970), sont en particulier caractérisés par la grande épaisseur des horizons A_2 qui peuvent dépasser 5 m, et par l'importance des accumulations humiques, indurées en alios et dont l'épaisseur atteint couramment 1 à 2 m. Complètement fossiles, ces accumulations résultent d'une phase particulièrement intense de podzolisation qui s'est produite entre 40 000 et 30 000 BP, pendant la période humide du Njilien (Schwartz, 1985; Schwartz et al., 1985), en conditions hydromorphes et sous couvert forestier, comme le prouvent des restes fossilisés de racines d'arbres dans l'alios et la composition isotopique $^{13}C/^{12}C$ des matières organiques de ces alios (Schwartz et al., 1986; Guillét, et al., 1986). Ces alios, qui ont une grande extension dans les paysages plats appelés "Loussekés", sont des horizons de première importance pour l'étude des matières organiques des milieux tropicaux.

2. DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE

L'alios humique étudié provient d'un podzol situé à Gangolingolo, village situé à quelques kilomètres de Brazzaville. La description du sol et quelques données analytiques sont présentées sur la figure 2.

On notera que l'alios humique est surmonté d'un petit horizon non induré mais compact qui forme un constant liseré beige de quelques centimètres à la surface. Dans cet horizon peu humifère, la matière organique s'assemble en microagrégats de 20 à 100 μm , enchassés dans la matrice quartzeuse dense.

Cet horizon a aussi des caractères d'horizon β . Aussi argileux (3,1 %) que l'alios, il est, par contre, enrichi en limons fins (6,3 %)

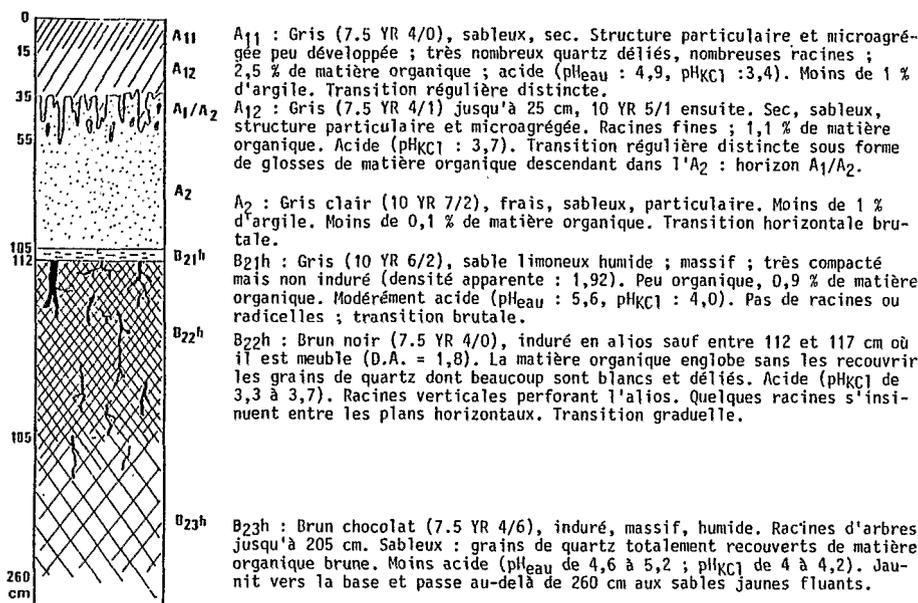


Fig. 2.

Description et quelques caractères analytiques du podzol de Gangalingolo.

par rapport à l'horizon A₂ (de 0,4 à 1,3 %) et aux horizons spodi-ques sous-jacents (de 1,3 à 3,3 %). Selon Schwartz (1985) qui base son argumentation sur une industrie lithique bien datée parfois posée sur l'alios et coiffée par cet horizon, l'enrichissement en limons paraît génétiquement lié à des phases de lessivage ou lavage des matériaux recouvrant les B_h, actuellement en position de A₂ et qui résultent de remaniements postérieurs à la podzolisation humique. En maintenant sur la figure 2 la nomenclature B_{21h}, nous avons voulu privilégier la structure en boulettes de la matière organique plutôt que les phénomènes de transfert de particules.

L'alios humique se subdivise en deux horizons distincts (figure 2) :
- Epais de quelque 70 cm, l'horizon supérieur B_{22h} est brun sombre à noir. Il est constitué par un ciment organique qui enrobe les grains de quartz, dont certains apparaissent cependant nus et déliés. Massif et extrêmement dur quand on l'attaque à la pioche, il est relativement friable à l'état sec. Sa densité apparente est de 1,8. Les teneurs en argiles varient de 2 à 4 %. La composition minéralogique est simple. La kaolinite accompagnée de quartz fin est présente dans la fraction argileuse. Les fractions plus grossières ne comportent que du quartz sauf dans les limons où des oxydes de titane, rutile et surtout anatase, ont été identifiés. Aucune trace de gibbsite n'a été décelée en diffraction des R.X.

- D'une épaisseur équivalente, l'horizon inférieur, B_{23h}, est plus clair : brun ocre à chocolat. Le ciment organique revêt de façon plus uniforme les grains. Légèrement moins dur que le précédent lorsqu'on l'attaque à la pioche, il est par contre plus cohérent à l'état sec. Sa densité apparente est également de 1,8. Les teneurs en argiles sont plus élevées (6 à 7 %). La composition minéralogique est identique à celle de l'horizon B_{22h} avec toutefois beaucoup moins d'oxyde de titane dans les limons.

Si la limite supérieure de l'aliôs est très brutale, subhorizontale, le passage entre les horizons B_{22h} et B_{23h} est très graduel, et il peut y avoir interpénétration entre ces deux horizons. En raison de la présence d'une nappe d'eau permanente, et de l'influence du matériau, il n'a pas été possible d'étudier la limite inférieure des accumulations humiques. Il semble que l'on passe très graduellement à un horizon B₃ ou à un horizon C constitué par les sables ocres Batéké.

L'aliôs est le toit de la nappe phréatique des grès et sables et le plancher d'une nappe perchée qui engorge l'horizon A₂ de décembre à avril (Schwartz, 1985).

3. ELEMENTS LIBRES : FER, ALUMINIUM, SILICIUM

Ces éléments ont été dosés après extraction dans le citrate-bi-carbonate-dithionite (CBD), le tampon oxalique (oxalate), le pyrophosphate utilisés sur des prises de sols indépendantes selon les modalités décrites par Jeanroy et al. (1984). Les résultats du tableau 1 suggèrent les interprétations suivantes.

Tableau 1.

Taux d'extraction du fer, aluminium et silicium (en mg par gramme) à différentes profondeurs dans le profil.

	CBD			Oxalate			Pyrophosphate		
	Fe	Al	Si	Fe	Al	Si	Fe	Al	Si
A ₁	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
Aliôs supérieur (B _{22h})	0,2	2,2	0,5	0,2	2,0	0,2	0,1	2,2	0,2
Aliôs médian (B _{23h})	0,2	3,7	0,7	0,0	3,6	0,2	0,1	3,7	0,3
Aliôs inférieur (B _{23h})	0,2	3,2	0,7	0,1	5,0	1,2	0,05	2,5	0,2

Les teneurs en fer libre extrait par le CBD sont extrêmement faibles, de l'ordre de 0,2 ‰, aussi non seulement il n'y a pas d'accumulation de fer dans l'aliol, mais les teneurs en fer y sont bien plus faibles que celles des matériaux initiaux. Schwartz (1985) signale en effet que les teneurs en fer libre de la formation des sables ocre Batéké, prélevés hors des milieux hydromorphes, oscillent entre 1,2 et 2,4 ‰. Il apparaît ainsi que le fer a été éliminé latéralement par des eaux de nappe, ce qui facilite par ailleurs les processus de podzolisation (Juste, 1965; Toutain, 1974; Righi et al., 1981). L'origine hydromorphe des podzols développés dans les sables Batéké, qu'ils soient actuellement encore soumis à l'action d'une nappe ou au contraire bien drainés, se trouve ainsi nettement confirmée.

En raison des faibles taux de fer, les différences enregistrées à l'extraction d'un réactif à l'autre sont difficilement interprétables.

Les taux d'aluminium sont bien plus élevés que les taux de fer. Dans l'horizon B₂₂h, les quantités extraites sont relativement constantes quel que soit le réactif. Il s'agit donc essentiellement d'aluminium lié à la matière organique sous forme de complexes organo-minéraux. On peut donc constater après Juste (1965) et Righi (1977) que la podzolisation en milieu hydromorphe conduit à privilégier la redistribution d'aluminium qui s'accumule avec la matière organique dans les horizons spodiques.

C'est dans la partie médiane de l'aliol (B₂₃h) que l'aluminium complexé aux substances organiques s'est le plus intensément accumulé. En effet, les quantités extraites par le pyrophosphate, mais aussi par les deux autres réactifs, y sont maximales.

Dans la partie inférieure de l'aliol des traces de composés de type allophane s'ajoutent à l'aluminium complexé (extrait par le pyrophosphate), voire aux formes hydroxyalumineuses amorphes (différence d'aluminium extrait par le CBD et le pyrophosphate). On détecte les allophanes en notant que l'oxalate, qui les dissout, extrait plus d'aluminium et silicium que le CBD qui les épargne (Fey et Le Roux, 1975; Bartoli et al., 1981; Jeanroy et al., 1983).

4. ETUDE DE LA MATIERE ORGANIQUE

4.1. Matière organique totale : teneurs et stock

Sur l'épaisseur totale de l'aliol, la teneur moyenne en matière organique est de l'ordre de 8 %. Les teneurs varient en fait entre 18 % et 1 % selon la profondeur (tableau 2). Soulignons que des teneurs de 30 % sont citées par de Boissezon et Gras (1970). S'il y a un gradient de matière organique avec la profondeur, les variations n'en sont ni régulières ni directement liées aux limites des horizons B₂₂h et B₂₃h. D'une manière générale la teneur en matière organi-

Horizon et profondeur (cm)	M.O. %	C/N
B ₂₂ h, 115	3,1	43
B ₂₂ h, 120	17,8	65,3
B ₂₂ h, 140	8,8	43,7
B ₂₂ h, 170	7,7	45,4
B ₂₂ h, 200	10,1	55,2
B ₂₃ h, 200	9,4	52
B ₂₃ h, 230	4,5	50,6
B ₂₃ h, 260	1,0	32,7
B ₂₃ h/C, 270	0,9	24,1

Tableau 2.

Teneur en matière organique (MO) et rapport C/N dans les horizons spodiques.

que de l'horizon B₂₂h est cependant supérieure à celle de l'horizon B₂₃h.

De telles teneurs en matières organiques aboutissent à un stock considérable de substances humiques accumulées dans ces alios épais. En supposant une densité apparente de 1,8 constante sur 160 cm, on parvient à des valeurs de l'ordre de 2 300 tonnes de matières organiques par hectare.

Ces chiffres ont été confirmés en plusieurs sites podzolisés du Lousséké de Gangolingolo (Schwartz, 1985). Si l'on admet que l'alios s'est probablement formé en 10 000 ans, on en déduit des apports annuels de 230 kg/ha/an qu'il faut rapporter aux retombées moyennes annuelles de 10 t/ha/an (Bray et Gorham, 1964). Le taux de production de matière organique stable serait de l'ordre de 2,3 %.

Ainsi que l'ont montré de Boissezon et Gras (1970) et Denis (1974), les C/N des horizons spodiques sont très élevés. Des valeurs comprises entre 40 et 60 sont une règle générale, sauf tout à fait à la base de l'alios. Ces fortes valeurs du C/N caractérisent des milieux biologiquement peu actifs dans lesquels, comme l'ont montré Righi et Guillet (1977) pour les podzols des Landes, la biodégradation des composés humiques est faible. En conséquence, la matière organique tend à s'accumuler. Il est également possible, comme le notent ces auteurs, que le vieillissement de la matière organique se soit accompagné d'une diminution relative du taux d'azote, qui aurait été évacué sous forme de composés solubles par la nappe ou encore minéralisé préférentiellement au carbone organique. Quoi qu'il en soit, ces fortes valeurs du C/N s'accordent bien avec les mesu-

res. d'âges élevées obtenues par datation ^{14}C : 29 400 ans BP à 130 cm et 38 500 ans BP à 200 cm (Schwartz et al., 1985).

4.2. Fractionnement de la matière organique

La méthode de Dabin (1971) a été utilisée. On procède d'abord à un prétraitement à l'acide phosphorique qui extrait les acides fulviques libres et ensuite aux traitements classiques par le pyrophosphate Na suivie par la soude. Trois points essentiels résultent de l'analyse (figure 3).

Avant tout, l'aliou se caractérise par un taux très faible et presque constant d'humine et de composés extractibles par la soude (de 6 à 8 % du carbone total). S'il est bien connu (Turenne, 1975; Dabin, 1981) que dans les podzols tropicaux, la soude extrait peu de composés organiques en comparaison du pyrophosphate, preuve d'une polycondensation modérée des substances humiques, par contre les faibles taux d'humine sont surprenants. Sans doute est-ce dû à l'absence du fer, ce qui inhibe la formation d'humine d'insolubilisation (Toutain, 1974).

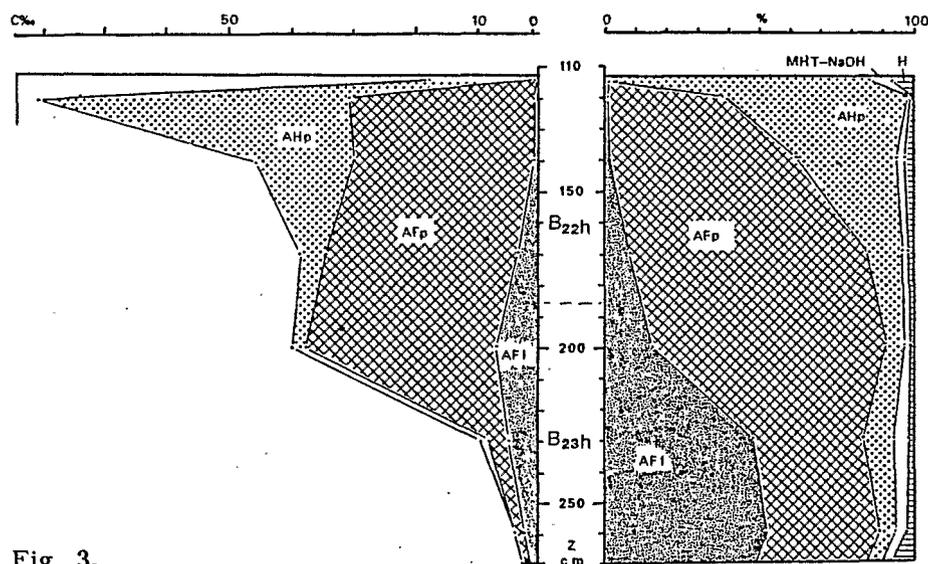


Fig. 3.

Fractionnement de la matière organique de l'aliou. A gauche, teneurs en carbone organique extrait des différentes fractions; à droite, distribution relative des fractions. AFI : acides fulviques libres; AFp : acides fulviques extraits au pyrophosphate; AHp : acides humiques extraits au pyrophosphate; MHT-NaOH : extrait soude; H : humine (non extrait). Note : en raison de leur faible valeur, l'extrait soude et l'humine n'ont pu être représentés sur la courbe des teneurs absolues.

L'importance des acides fulviques, notamment dans la partie médiane et inférieure de l'aliol est particulièrement affirmée alors que le caractère fossile des accumulations est tout à fait établi. Ainsi, après Righi et Guillet (1977), il est à nouveau prouvé que les aliols des podzols hydromorphes comportent des complexes aluminofulviques qui résistent au temps et s'avèrent donc être d'une grande stabilité chimique et biologique. La stabilité de l'association aluminofulvique est sans doute en grande partie due à l'incapacité qu'ont les milieux engorgés à provoquer la polycondensation des macromolécules organiques. Ce n'est qu'au sommet de l'aliol, siège d'alternances d'humectation-dessiccation, que les contrastes pédoclimatiques favorisent la condensation.

L'abondance des acides humiques au sommet de l'aliol contraste avec le caractère fulvique des niveaux profonds. Bien que le gradient croissant vers la profondeur du rapport acides fulviques/acides humiques soit un phénomène classique des horizons spodiques (Bruckert et Guillet, 1972), il atteint en milieu tropical une amplitude tout à fait exceptionnelle (Turenne, 1975).

5. ETUDE MICRO- ET ULTRASTRUCTURALE

5.1. Microscopie optique

Au microscope optique, les deux horizons $B_{22}h$ et $B_{23}h$ sont très semblables. Seules les distinguent leur couleur, brun sombre pour le $B_{22}h$, brun rougeâtre pour le $B_{23}h$, et l'épaisseur des revêtements plus importante pour le premier horizon.

Dans ces deux horizons, le squelette est constitué exclusivement de grains de quartz arrondis, de taille généralement comprise entre 100 et 500 μm , avec une médiane vers 250 μm . Ces grains sont complètement enrobés d'un plasma organique monomorphe continu formant un revêtement très épais. Bien plus, tout l'espace entre les grains est occupé par la matière organique de sorte que la microporosité paraît faible. Les revêtements de grains et remplissages intergranulaires sont en tout point semblables à ceux décrits dans les horizons $B_{22}h$ de podzols développés sur sables en milieu tempéré et présentés par Righi (1975), Van Ranst et al. (1980) et De Coninck et Righi (1983). Il n'y a pas de matière organique sous forme d'agrégats. Des débris végétaux figurés apparaissent par endroits : il s'agit de racines en parfait état de conservation, mais parfois également de débris racinaires plus transformés.

5.2. Microscopie électronique à balayage (MEB)

L'horizon $B_{22}h$ est formé d'un épais gel de matière organique

monomorphe enrobant les grains du squelette. La dessiccation (naturelle ou liée à la préparation des échantillons) a fortement craquelé ces gels en polyèdres anguleux, à faces planes, et ménagé entre revêtements et squelette des vides intersticiels qui épousent la forme des grains de quartz (photo 1). L'observation à très fort grossissement montre que les gels sont très homogènes et ont une très faible porosité. Par endroit, apparaît une structure floconneuse peu développée. Les fragments organiques identifiables sont rares et formés exclusivement de débris racinaires. Par sa structure, cet horizon rappelle tout à fait les images de l'horizon B₂₂h des podzols landais décrits par Righi (1975).

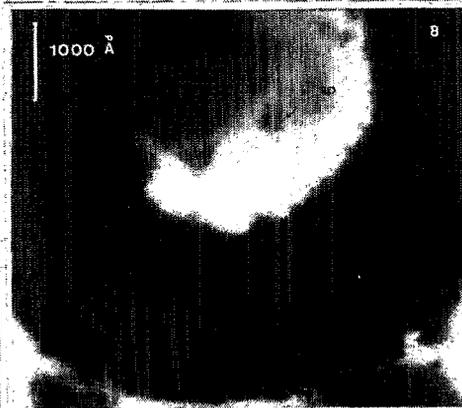
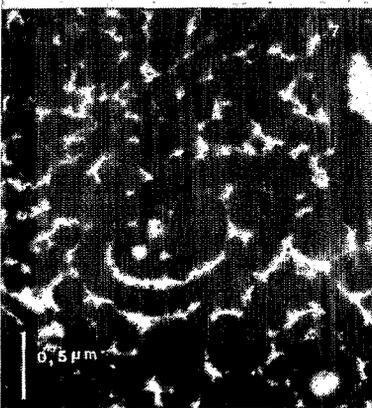
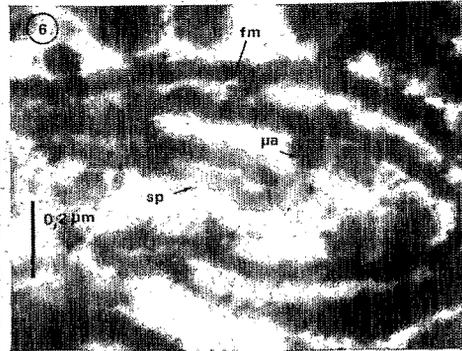
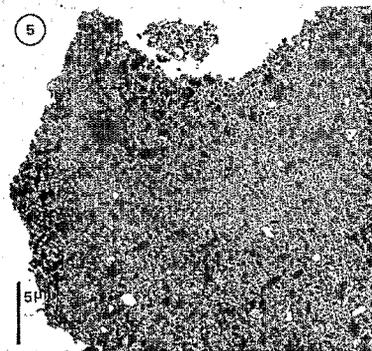
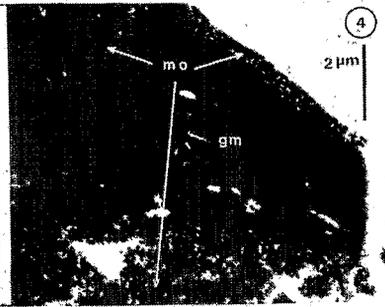
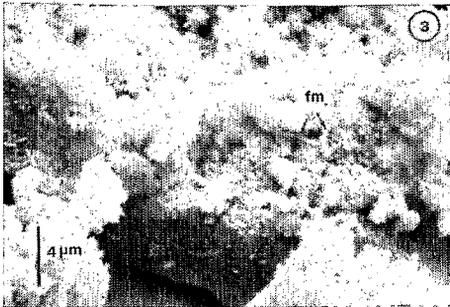
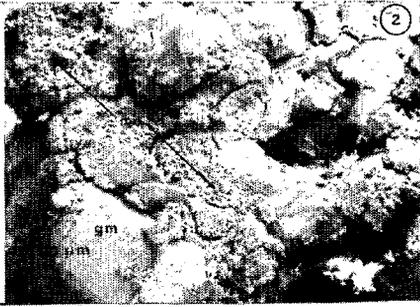
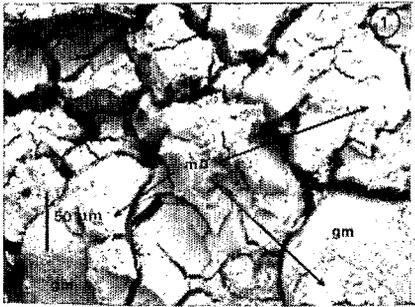
L'horizon B₂₃h dont la structure est très semblable au précédent s'en différencie cependant sur certains points. En particulier, les effets de la dessiccation paraissent moins poussés; les craquelures sont moins nombreuses, moins nettes, plus petites et la matière organique adhère d'avantage aux grains de quartz (photo 2). Par ailleurs, la structure floconneuse est plus développée (photo 3). Il en résulte une microporosité un peu plus importante, ainsi qu'une certaine hétérogénéité. A un fort grossissement, on constate dans ces flocons la présence de filaments mycéliens.

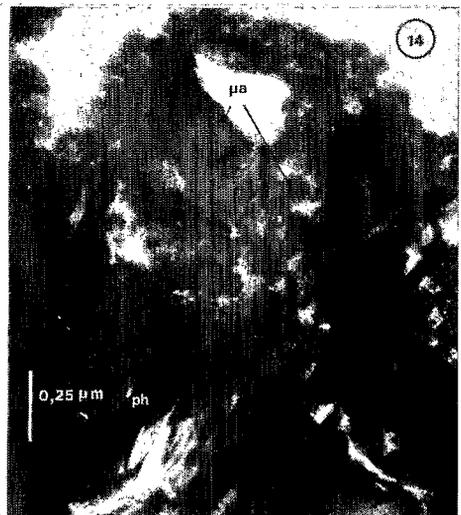
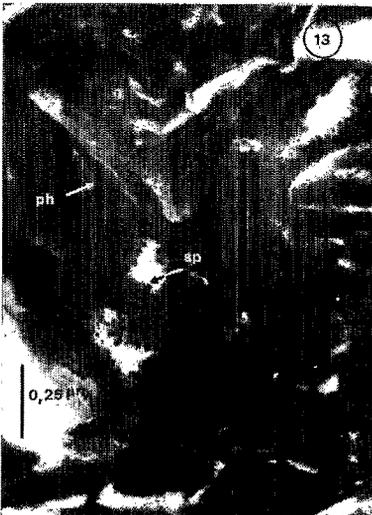
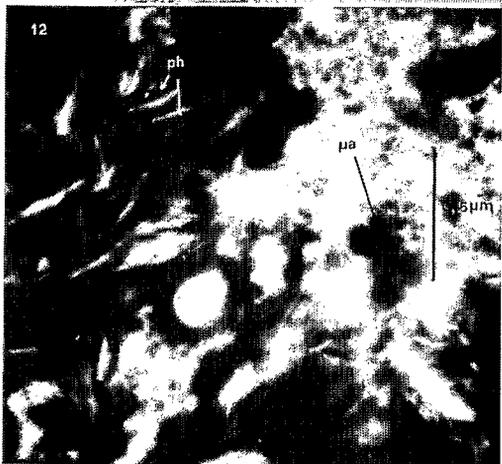
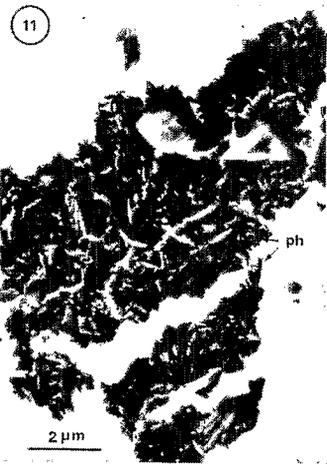
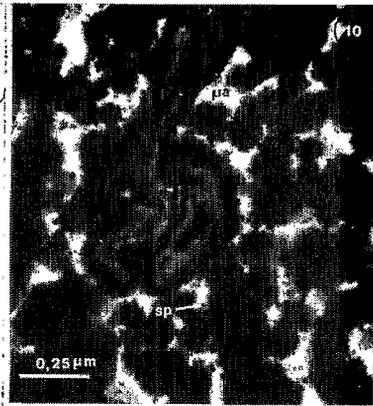
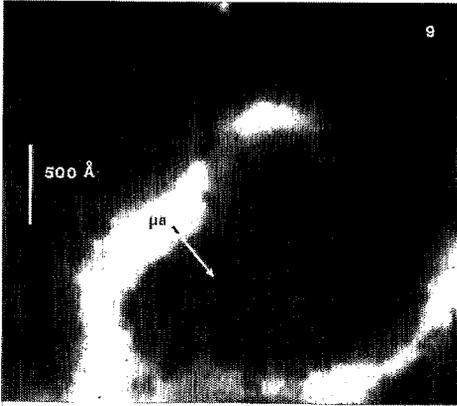
5.3. Microscopie électronique à transmission (MET)

L'examen d'échantillons de sols au microscope électronique à transmission impose l'utilisation de méthodes préparatoires qui préservent d'une part la structure organique et d'autre part la disposition initiale des constituants organo-minéraux du sol. La technique utilisée a été récemment mise au point (Villemin et Toutain, 1985), elle permet de fixer chimiquement les échantillons par capillarité avec de l'acide osmique à 1 %.

Les fragments de plasma des horizons spodiques ont été obtenus après broyage modéré par glissement sélectif sur une feuille de papier inclinée pour éliminer une grande part des grains de quartz. Les fragments inclus ont une taille de l'ordre du mm.

Dans l'horizon B₂₂h, le plasma apparemment monomorphe observé en micromorphologie au microscope optique et qui apparaissait sous forme de polyèdres à revêtement craquelé au MEB est en fait constitué d'un mélange intime de matière organique monomorphe et de restes de microorganismes très reconnaissables, le tout présentant une microporosité qui n'apparaissait pas au MEB (photo 4). On peut en effet reconnaître dans ces coupes un grand nombre de débris figurés, surtout des parois de microorganismes d'allure filamenteuse (photo 5) ayant un diamètre moyen compris entre 0,2 et 2 µm. Il s'agit très probablement de restes d'actinomycètes. Leurs parois présentent un aspect biodégradé marqué par une opacité aux électrons importante, qui ne permet plus de distinguer leur structure in-





OBSERVATIONS AU MICROSCOPE ELECTRONIQUE (MEB)

1. Horizon B₂₂h

Photo 1 - Revêtements organiques (mo) et grains minéraux (gm).
La structure en polyèdres argileux est liée à la dessiccation.

2. Horizon B₂₃h

Photo 2 - Revêtements organiques (mo) et grains minéraux (gm).
Les revêtements organiques présentent des craquelures peu marquées et ont un aspect floconneux.

Photo 3 - Détail de la photo précédente montrant la présence de filaments mycéliens (fm).

OBSERVATIONS AU MICROSCOPE ELECTRONIQUE A TRANSMISSION (MET)

1. Horizon B₂₂h

Photo 4 - Plasma de matière organique (mo) enrobant du minéral (gm) (quartz) très dense aux électrons.

Photo 5 - Fragment de plasma de forme polyédrique constitué uniquement de matière organique.

Photos 6, 7, 8, 9 et 10 - Détails de la photo précédente montrant que la matière organique du plasma est en fait constituée de restes de microorganismes (parois d'aspect souvent filamenteux, photo 6) et d'une matière organique monomorphe formée de microagrégats (μa) de quelques milliers d'Å ou de sphéroïdes (sp) de quelques centaines d'Å fixés ou non sur les parois des microorganismes (en donnant dans ce cas un contour flou à ces éléments figurés).

2. Horizon B₂₃h

Photo 11 - Observation à faible grossissement de l'échantillon.
Les fissures au niveau des revêtements organiques sont nombreuses et profondes, on note aussi la présence d'une quantité importante de minéral (pH) (kaolinite).

Photos 12, 13 et 14 - Détail de l'échantillon précédent. L'échantillon est constitué d'une trame de matière minérale se présentant sous forme de phyllites. Sur ces phyllites ou entre ces phyllites se fixent des sphéroïdes ou des microagrégats de matière organique monomorphe.

terne (photo 6), leurs contours sont souvent flous en raison de la présence de particules sphéroïdales de matière organique fixée à leur surface. Quant à la matière organique "monomorphe", elle représente la fraction la plus importante de l'échantillon. Elle se trouve soit fixée sur les éléments reconnaissables dont nous venons de parler et apparaît alors sous forme de sphéroïdes de très petite taille (100 à 200 Å) (photos 7 et 8), soit entre ces éléments et apparaît alors sous forme d'amas glomérulaires qui résultent d'une microagrégation des sphéroïdes élémentaires et dont la taille est de l'ordre de 1000 à 2000 Å. Les coupes observées ne montrent que très peu d'éléments phylliteux.

Dans l'horizon B₂₃h, l'observation au MET à faible grossissement montre une structure des polyèdres de base observés au MEB très différente de celle constatée dans B₂₂h. Les craquelures au sein des polyèdres sont plus nombreuses mais plus petites (photo 9). A fort grossissement, on constate qu'il n'y a que très peu de matière organique figurée reconnaissable sous forme de restes microbiens (photo 10), mais par contre, une très forte présence d'éléments phylliteux (photo 11). La matière organique "monomorphe" se présente alors soit sous forme de sphéroïdes de 100 à 200 Å ou de microagrégats 1000 à 2000 Å libres ou fixés à la surface des éléments phylliteux (photo 12).

6. DISCUSSION ET CONCLUSIONS

Les alios humiques des podzols formés sur sables Batéké constituent par leur épaisseur et par les quantités de matière organique qu'ils stockent, des accumulations humiques remarquables.

Certaines caractéristiques de l'alios demeurent constantes sur toute son épaisseur. Ainsi, la matière organique y est essentiellement à l'état monomorphe au sens défini par De Coninck et al. (1974) : après avoir migré à l'état soluble, la matière organique s'est insolubilisée autour des grains du squelette et dans la porosité intergranulaire. C'est de cette accumulation de matière organique ou plutôt de gels organo-minéraux qu'est né l'alios. En effet, comme dans les alios des podzols hydromorphes des régions tempérées (Righi, 1975), ce sont des substances peu condensées, principalement fulviques, associées à l'aluminium, qui ont colmaté et induré les sables. Là aussi, les complexes organo-ferriques font presque totalement défaut. Il faut y voir une conséquence de la genèse hydromorphe de ces podzols et des conditions générales réductrices qui provoquent l'élimination du fer.

Les observations ultrastructurales rarement faites dans les accumulations humiques des horizons spodiques, apportent de précieuses informations.

Il est remarquable de constater que les gels fulvo-aluminiques prennent la forme élémentaire de sphéroïdes d'une centaine d'Ångströms de diamètre. Ces unités élémentaires qui sont à la base d'amas glomérulaires plus grossiers, résultant de leur concentration et leur agglomération, rappellent celles des acides humiques et fulviques observées au microscope électronique à balayage (Nguyen Kha, 1981), ou à transmission (Schnitzer et Kodama, 1975; Stevenson et Schnitzer, 1982). On peut supposer avec Schnitzer et Kodama (1975) que ces sphérules représentent un ensemble de macromolécules humiques (sensu lato) qui prennent, en milieu acide, une conformation spatiale en pelote.

Par certains aspects, l'ultrastructure des gels de l'horizon B₂₂h diffère de celle de l'horizon sous-jacent B₂₃h. En B₂₂h, des restes de microorganismes (bactéries et hyphes mycéliens) ont été observés sur un grand nombre de coupes minces. Ils témoignent d'une activité biologique révolue qui fut bien plus intense que dans l'horizon B₂₃h où ces reliques biologiques sont rares. Il est étonnant de constater que malgré l'abondance de ces restes biologiques, l'humine y est peu représentée. Il est possible, comme le suggère l'opacité exceptionnelle aux électrons des parois microbiennes, qu'une dégradation des constituants des parois, notamment des lipopolysaccharides ait eu lieu à un moment donné les rendant plus solubles dans les réactifs d'extraction.

L'organisation et l'interrelation entre particules sphéroïdales, les amas glomérulaires et particules minérales fines différencient aussi les deux parties de l'altos. En B₂₂h, les sphéroïdes et amas semblent s'entasser librement ménageant entre eux une microporosité apparemment moins développée qu'en B₂₃h. Ainsi l'aspect massif des gels observés au MEB s'expliquerait par l'agencement compact des diverses entités organo-minérales révélées par l'analyse ultrastructurale.

A l'opposé, les gels fulvo-aluminique de l'horizon B₂₃h adhèrent aux particules minérales phylliteuses dont l'agencement forme une véritable trame poreuse. Cette microorganisation expliquerait l'aspect floconneux des ciments organo-minéraux observés au MEB dans cet horizon.

REMERCIEMENTS

Nous remercions MM. M. DOIRISSE et E. JEANROY de leur aide technique.

REFERENCES

- Bartolli, F., Jeanroy, E. & Vedy, J.C. (1981)
Transfert et redistribution du silicium, de l'aluminium et du fer dans les podzols : rôle des composés organiques et des supports minéraux. In : "Migrations organo-minérales dans les sols tempérés". Coll. Int. C.N.R.S., no. 303, Nancy, 282-289.
- Boissezon, P. de & Gras, F. (1970)
Notice explicative no. 44 : carte pédologique Sibiti-Est. Rep. Pop. du Congo, Brazzaville, 1/500 000.
ORSTOM, Paris, 144 p., 1 carte.
- Bray, R. & Gorham, E. (1964)
Litter production in forests of the world.
Adv. Ecolog. Research., 2 : 101-157.
- Bruckert, S. & Guillet, B. (1972)
Influence des propriétés physico-chimiques d'un granite et d'un grès sur la migration relative des polymères fulviques et humiques des podzols.
C.R. Acad. Sci., Paris, 274, Sér. D : 3076-3079.
- Dabin, B. (1971)
Etude d'une méthode d'extraction de la matière humique du sol.
Bull. A.F.E.S., Science du Sol, 1 : 47-63.
- Dabin, B. (1981)
Les matières organiques dans les sols tropicaux normalement drainés.
Cah. ORSTOM, sér. Pédol., XVIII (3-4) : 197-215.
- De Coninck, F. & Righi, D. (1983)
Podzolisation and the spodic horizon. In : P. Bullock and C.P. Murphy, Eds. Soil micromorphology.
A.B. Academic Publish., 2 : 389-417.
- De Coninck, F., Righi, D., Maucorps, J. & Robin, A.M. (1974)
Origin and micromorphological nomenclature of organic matter in sandy spodosols in soil microscopy.
Proc. 4th Intern. Work. Meeting on Soil Micromorph.", Kingston, Canada : 263-280.
- Denis, B. (1974)
Notice explicative no. 52. Carte pédologique au 1/200 000, Brazzaville-Kinkala, Rép. Pop. du Congo.
ORSTOM, Paris, 101 p., 1 carte h.t.

- Fey, M.V. & Le Roux, J. (1975)
Quantitative determination of allophane in soil clays.
Proc. Intern. Clay Conf., Tokyo : 451-463.
- Guillet, B., Mariotti, A., Balesdent, J., Faivre, P. & Schwartz, D. (1986)
The $\delta^{13}\text{C}$ of soil organic carbon as indicator of ecosystem changes and of the organic matter turnover.
Congress ISSS, Hambourg, August 1986, II : 576-577.
- Jeanroy, E., Guillet, B., Delcroix, P. & Janot, Ch. (1983)
Les formes du fer dans les sols : confrontation des méthodes chimiques avec la spectrométrie Mössbauer.
Science du Sol, 3-4 : 185-194.
- Jeanroy, E., Guillet, B. & Oritz, R. (1984)
Applications pédogénétiques de l'étude des formes du fer par les réactifs d'extraction : cas des sols brunifiés et podzolisés sur roches cristallines.
Science du Sol, 3 : 199-211.
- Juste, C. (1965)
Contribution à l'étude de la dynamique de l'aluminium dans les sols acides du Sud-Ouest atlantique.
Thèse Doct.-Ing., Université de Nancy I, 142 p.
- Nguyen Kha (1981)
Essai de caractérisation par microscopie électronique de la micro-structure et du degré d'agrégation des acides humiques extraits de plusieurs types de sols. In : "Migrations organo-minérales dans les sols tempérés".
Coll. Intern. C.N.R.S., no. 303, Nancy : 315-328.
- Righi, D. (1975)
Etude au microscope électronique à balayage de champ et au micro-analyseur à sonde électronique des revêtements et des agrégats organiques d'horizons B spodiques.
Science du Sol, 4 : 315-321.
- Righi, D. (1977)
Genèse et évolution des podzols et des sols hydromorphes des Landes du Médoc.
Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Poitiers, 144 p.
- Righi, D., Dupuis, Th. & Jambu, J. (1981)
Dynamique du fer et de l'aluminium en milieu engorgé et podzolique. In : "Migrations organo-minérales dans les sols tempérés".
Coll. Intern. C.N.R.S., no. 303, Nancy : 57-62.

Righi, D. & Guillet, B. (1977)

Datations par le carbone 14 naturel de la matière organique d'horizons spodiques de podzols des Landes du Médoc.

Soil Organic Matter Studies, IAEA, Vienne : 187-192.

Schnitzer, M. & Kodama, H. (1975)

An electron microscopic examination of fulvic acid.

Geoderma, 13 : 279-287.

Schwartz, D. (1985)

Histoire d'un paysage : le lousséké. Paléoenvironnements quaternaires et podzolisation sur sables Batéké (quarante derniers millénaires, région de Brazzaville, R.P. du Congo).

Thèse de Doctorat de l'Université de Nancy I, 211 p.

Schwartz, D., Delibrias, G., Guillet, B. & Lanfranchi, R. (1985)

Datations par le ^{14}C d'aliots humiques : âge njilien (40000-30000 BP) de la podzolisation sur sables Batéké (R.P. du Congo).

C.R. Acad. Sci., Paris, sér. II, 17 : 891-894.

Schwartz, D., Mariotti, A., Lanfranchi, R. & Guillet, B. (1986)

$^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios of soil organic matter as indicators of ecosystem changes in the Congo.

Geoderma, 38 (sous presse)

Stevenson, I.L. & Schnitzer (1982)

Transmission electron microscopy of extracted fulvic and humic acids.

Soil Science, 133 : 179-185.

Toutain, F. (1974)

Etude écologique de l'humification dans les hêtraies acidiphiles.

Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Nancy I, 175 p.

Turenne, J.F. (1975)

Modes d'humification et différenciation podzolique dans deux toposéquences guyanaises.

Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Nancy I, 175 p.

Van Ranst, E., Righi, D., De Coninck, F., Robin, A.M. & Jamagne, M. (1980)

Morphology, composition and genesis of argillans and organans in soils.

J. Microsc., 120 : 353-361.

Villemin, G. & Toutain, F. (1985)

Contribution à la mise au point d'une méthode d'observation des microagrégats du sol en microscopie électronique à transmission.

Coll. Ann. SFME, Strasbourg, mai 1985.

Humus-alios in tropische podzols van de Congo-republiek : samenstelling, micro- en ultra-structuur

Samenvatting

De podzols ontwikkeld op de Batéké-zanden zijn gekenmerkt door dikke spodic horizons, verhard door alios die belangrijke hoeveelheden humusbestanddelen met hoge C/N waarde bevatten. Een aantal van hun eigenschappen blijven onveranderd over de gehele dikte, met name de nagenoeg volledige afwezigheid van ijzer, de aanwezigheid van grote hoeveelheden gecomplexeed aluminium, geassocieerd met allofaan-vormen in de diepte, een hoge extraheerbaarheid van de organische stof, en een dominantie van fulvine-zuren over humine-zuren.

De organische stof is in nagenoeg alle spodic horizons monomorf; ze bedekt de korrels van het skelet en vult de poriën op. Ultrastructuurverschijnselen waargenomen met de resp. scanner (MEB) en transmissie-electronenmicroscop (MET) laten toe een onderscheid te maken tussen de horizonten B22h en B23h. In de eerste vormen de organo-alumino-gelen sferoïdale partikels (met approximatieve diameter 100 Å) die aaneen kleven tot glomerulaire massa's die zich opeenstapelen en aanleiding geven tot een zwakke microporositeit. In de B23h horizont kleven de gelen zich vast op de kleideeltjes en ontstaat een meer poreuse structuur. De resten van de bacteriële en schimmelwanden zijn duidelijk frekwenter in de B22h dan in de B23h horizont en getuigen van een vroegere belangrijke biologische activiteit, die plotseling werd afgebroken.

Humus alios from tropical podzols in Congo : constituents, micro- and ultrastructures

Summary

Podzols developed on the Batéké sands are characterized by thick indurated spodic horizons which accumulate large quantities of organic matter with high C/N. Some properties are uniform all over the spodic horizons : lack of free iron, importance of aluminium combined with organic substances, high extractibility of the organic matter, dominance of fulvic acids. Everywhere, the monomorphous organic matter coats the skeleton grains and fills the intergranular pores. Ultrastructural features observed with SEM and TEM techniques allow to distinguish two parts in the spodic horizon. In the upper B₂₂h horizon, organo-aluminium gels have an elementary

form of spheroidal particles (ca. 100 Å) which agglomerate into glomerular aggregates, separated from each other by small pores. In the lower B₂₃h horizon, gels and aggregates are joined to clay minerals and form a more porous network. Remnants of bacterial and fungal walls are more abundant in B₂₂h than in B₂₃h, and hence illustrate a past good biological activity in this layer.

PEDOLOGIE

Overprint from Pedologie 1986/2

International bulletin edited by the Belgian Society of
Soil Science

ORSTOM Fonds Documentaire

N° : 26.204 ex 1

Cote : B

28 MARS 1989

P1 p133 M