

Mise en évidence de deux modes de microstructuration dans une couverture de sols ferrallitiques rouges du Sud-Cameroun

D. BITOM (1)
B. VOLKOFF (2)

RÉSUMÉ

Dans la zone forestière du Sud-Cameroun, une étude pétrographique de sols ferrallitiques à horizons rouges aliatiques et profonds, macroscopiquement identiques le long de la toposéquence, met en évidence deux modes distincts de microagrégation : un par microstructuration, l'autre par micronodulation. Le premier s'initie par le développement intense de séparations plasmiques au sein d'une matrice argileuse dense qui est suivi de la fragmentation de cette matrice. Le second est dû à la différenciation progressive de concentrations ferrugineuses autochtones. La microstructuration affecte l'amont et la plus grande partie de la toposéquence. Les deux processus de microagrégation, par microstructuration et par micronodulation, paraissent se succéder dans le temps et être liés à des variations du régime hydrique à la base des profils.

MOTS-CLÉS : sol ferrallitique - sol rouge - micromorphologie - Cameroun.

EVIDENCES OF TWO MODES OF MICROSTRUCTURATION IN RED FERRALLITIC SOILS OF SOUTH CAMEROON

In the forest region of South Cameroon, a petrographic study of ferrallitic soils involving red and deep aliotic horizons macroscopically identical along a toposequence (Fig. 1), reveals two distinct types of microaggregation, namely microstructuration and micronodulation. The first type, observed in the upper and largest part of the toposequence, is initiated by an intense development of plasmic fabrics into an initial dense clayey matrix, followed by the physical fragmentation of this matrix (Fig. 2). The second type, located in the lower part of the toposequence, is due to a progressive differentiation of autochthonous ferruginous concentrations into a dense clayey matrix (Fig. 3) in which no plasmic fabrics are observed (non-oriented). These two types of microaggregation lead to the formation of aliotic horizons, composed of connected microaggregates with sub-rounded forms, separated by anastomosing voids. In the first case, microaggregates are birefringent and their diameter varies from 100 to 200 μm . In the second case, microaggregates are opaque and larger than the first ones (200 to 300 μm in diameter). On the slope of the toposequence, these two types of microaggregates are superimposed (Fig. 4). The transition from the first type at the upper part of the

(1) Faculté des Sciences, Université de Yaoundé (Cameroun)

(2) ORSTOM, BP 1857, Yaoundé (Cameroun)

ORSTOM Fonds Documentaire

N° : 36.172-ex1

Cote : B

289

23 NOV. 1992

928

M

toposequence to the second type at the lower part seems to be due to the variation in the water content at the bottom of the profiles.

KEY-WORDS : *ferrallitic soil - red soil - micromorphology - Cameroon*

INTRODUCTION

Les sols rouges ferrallitiques sont très répandus dans la zone tropicale. Ce sont des sols généralement profonds présentant un horizon B fortement microagrégé, argileux, rouge et meuble. Ce type d'horizon appelé horizon aliatique (CHATELIN et MARTIN, 1972), a été reconnu à travers le monde tropical (LARUELLE, 1956 ; STOOPS, 1968 ; RUTHERFORD, 1969 ; BENNEMA *et al.*, 1970 ; BEAUDOU, 1972 ; CHAUVEL, 1977 ; MULLER, 1977 ; EMBRECHTS et SYS, 1988). D'aspect continu à l'oeil nu, il apparaît constitué de petits agrégats micrométriques de forme arrondie, soudés les uns aux autres et séparés par des vides interconnectés en microscopie optique (BEAUDOU, 1972 ; ESWARAN, 1972 ; HUMBEL, 1976 ; PEDRO *et al.*, 1976 ; CHAUVEL, 1977 ; MULLER, 1977 ; ROSELLO *et al.*, 1982 ; EMBRECHTS, 1986). Ces microagrégats, encore appelés pseudo-sables, pseudo-particules, microgranules, micronodules, micropeds, sont cohérents et très stables à l'eau (CHAUVEL et MONNIER, 1967 ; CHAUVEL et PEDRO, 1967 ; BLACKMORE, 1973 ; PEDRO *et al.*, 1976 ; EMBRECHTS, 1986), et font des horizons aliatiques des milieux très filtrants.

La genèse des microagrégats est encore discutée. Pour CHAUVEL (1977), la genèse des microagrégats est initiée par des concentrations authigènes de certains constituants du plasma. Au contraire pour MULLER (1977), elle est liée à des phénomènes de gonflement-retrait provoquant des réorganisations des particules argileuses, puis la fragmentation physique de la matrice argileuse dense initiale. Notons cependant que CHAUVEL a travaillé au Sénégal, sous climat à saisons contrastées, tandis que MULLER a travaillé au Cameroun sous climat sub-équatorial. Dans le premier cas, les microagrégats sont isotropes, dans le second anisotropes.

Des concentrations ferrugineuses authigènes précédant la réorientation des particules argileuses et la fragmentation progressive du matériau argileux dense initial ont été décrites en République Centrafricaine (BEAUDOU, 1972). Au Brésil, la microagrégation des sols rouges sur basalte provient d'une désaturation progressive du matériau argileux initial et d'une inactivation des particules argileuses par ferritisation superficielle du matériau dense initial préalablement fissuré sous l'effet de phénomènes de gonflement-retrait (PEDRO *et al.*, 1976).

La présente étude, située au Sud-Est du Cameroun, porte sur des sols rouges microagrégés agencés le long d'une toposéquence.

Le climat est de type sub-équatorial chaud et humide (température moyenne 23°C, pluviométrie 1600mm/an, humidité relative 61 à 98 %) et la végétation est une forêt dense. Le substrat géologique est un gneiss migmatitique à micas (noirs et blancs), quartz, amphibole et pyroxène.

I. MATERIEL ET METHODES

A) PRESENTATION DE LA TOPOSÉQUENCE

La toposéquence étudiée va du sommet d'un interfluve légèrement convexe à un marécage situé 20 à 25 m plus bas. La pente varie entre 2,5 et 6 %.

Les sols sont très profonds, mais leur puissance varie latéralement : 11 m au-dessus de la roche altérée à l'amont de la toposéquence, 6,5 m à l'aval, profondeur à laquelle apparaît la nappe phréatique. L'extrémité de la toposéquence est occupée par des sols hydromorphes bordant le marécage.

Ils comportent :

- un ensemble d'altération limono-sableux et meuble à la base des profils ;
- un ensemble ferrugineux médian, représenté à l'amont de la toposéquence par un ensemble nodulaire épais (plus de 4 m), et vers l'aval par une carapace massive d'épaisseur dépassant 0,5 m, prolongée par une cuirasse plus épaisse (jusqu'à 2 m) et plus indurée ;
- un ensemble meuble supérieur, d'épaisseur pouvant atteindre 7 m, rouge et argileux, au sein duquel s'observent les phénomènes de microagrégation.

L'ensemble supérieur meuble montre quatre principaux horizons, qui sont de bas en haut (Fig. 1) :

- un horizon argileux dense et profond de 2 à 2,5 m d'épaisseur, rouge (10R 4/8), à structure polyédrique anguleuse moyenne à fine vers le haut, à agrégats fermes, denses et cohérents, et à porosité apparente faible, essentiellement de type tubulaire. La partie supérieure de l'horizon est caractérisée par l'apparition de phases à structure microgrenue et à microporosité très élevée dont l'importance s'accroît progressivement vers le haut ;

- un horizon également argileux et rouge, mais à structure microgrenue ou microagrégée généralisée, ou horizon aliatique de 2 à 3 m d'épaisseur, très friable et paraissant constitué à la loupe d'un assemblage lâche de petite têtes d'épingles ménageant entre elles une forte porosité d'entassement. De rares phases denses à structure polyédrique anguleuse fine ainsi que quelques volumes rouge sombre, denses, et très compacts (noyaux argileux) sont également présents ici ;

- un horizon argileux, rouge sombre (10R 3/6) et compact, ou "horizon de consistance" d'épaisseur métrique, à structure continue et à éclats anguleux, à porosité apparente très faible. Des revêtements luisants tapissent les faces des éclats débités ;

- enfin, des horizons humifères superficiels, d'une quinzaine de centimètres d'épaisseur, brunâtres, argilo-sableux à sablo-argileux, poreux et à structure polyédrique subanguleuse fine, localement grumeleuse autour des nombreuses racines.

Les transitions entre ces quatre horizons sont progressives.

Vers l'aval de la toposéquence on observe les variations suivantes :

- l'horizon dense profond se décolore progressivement, devenant orangé (5YR) au niveau du puits P7 (Fig. 1), puis ocre-pâle à gris en bordure du marécage, où par

ailleurs sa structure est massive. De plus, son épaisseur diminue graduellement vers l'aval, passant de 2 ou 2,5 m à moins de 0,5 m ;

- l'horizon aliatique se décolore également et diminue latéralement d'épaisseur ; il disparaît totalement en biseau à proximité des sols hydromorphes bordant le marécage. En outre, la structure microagrégée caractéristique de l'horizon devient sensiblement moins nette à l'aval de la toposéquence, concomitamment à un léger accroissement des phases denses non différenciées ;

- l'horizon de consistance, enfin, présente latéralement les mêmes variations morphologiques (décoloration et diminution d'épaisseur). En bordure du marécage, il surmonte directement l'horizon dense profond (Fig. 1).

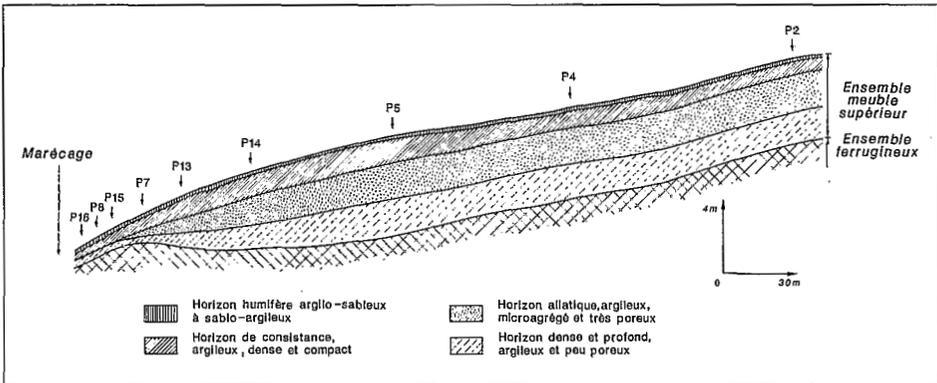


Figure 1 : Organisation morphologique de l'ensemble meuble supérieur et localisation des puits (P) le long de la toposéquence.

Morphology of the upper loose layer and location of the pits (P) along the toposéquence.

Les caractères des horizons humifères demeurent identiques tout le long de la toposéquence.

Sur le plan minéralogique, l'ensemble meuble supérieur est constitué essentiellement de kaolinite et de quartz. La gibbsite, l'hématite et la goéthite sont également détectées en diffraction RX, mais ces minéraux sont absents au niveau des sols hydromorphes en bordure du marécage.

Sur le plan géochimique, aucune variation verticale sensible des teneurs des principaux éléments Si, Al, Fe n'est notée ; et latéralement, seules les teneurs en Fe changent notablement, passant de l'amont vers l'aval de la toposéquence de 9 à 5 % de Fe_2O_3 (moins de 3 % dans les sols hydromorphes).

Les horizons dense profond et aliatique, encore appelés structichrons (CHATELIN et MARTIN, 1972), font plus particulièrement l'objet de la présente étude.

B) MÉTHODES D'ÉTUDE

L'étude s'appuie essentiellement sur l'analyse microscopique de matériaux non perturbés. A cet effet, des prélèvements d'échantillons non remaniés et orientés, en vue de la confection de lames minces, ont été systématiquement effectués dans les quatre puits P2, P5, P7 et P8 (Fig. 1) choisis pour l'étude détaillée.

Les échantillons ont été prélevés tous les 50 cm dans les deux horizons dense profond et aliatique, et tous les 10 cm au niveau de leurs transitions.

Le long de la toposéquence étudiée, nous avons distingué :

- un "amont de la toposéquence", correspondant à la partie sommitale de l'interfluve, et caractérisé dans le puits P2 ;
- un "aval de la toposéquence", correspondant à la partie basse de la séquence dont la pente varie entre 5 et 6 %, et caractérisé dans les puits P13, P7 et P15 ;
- et entre les deux, le "versant de la toposéquence" caractérisé dans les puits P4, P5 et P14, et dont la pente est de 2 à 3 %.

Au cours des descriptions micromorphologiques, la terminologie utilisée sera celle de BREWER (1964).

II. RÉSULTATS

A) ÉTUDE MICROSCOPIQUE DE L'HORIZON DENSE PROFOND

L'horizon dense profond est constitué d'un fond matriciel rouge à l'amont de la toposéquence, mais plus pâle et juxtaposé à de nombreux traits pédologiques principalement sous forme de nodules ferrugineux et gibbsitiques à l'aval.

Les trois composantes squelette, plasma et vides de ce fond matriciel présentent les caractéristiques suivantes :

- squelette : peu abondant, il est composé essentiellement de quartz grossiers, hétérométriques et fissurés ;

- plasma : il est abondant et dense. A l'amont de la toposéquence, le plasma, rouge en Lumière Naturelle (LM), est rouge sombre en Lumière Polarisée (LP) et présente de fines séparations plasmiques orientées suivant une ou deux directions préférentielles, ou autour de certains vides et quartz. Vers l'aval cependant, le plasma prend progressivement une couleur orangée, en même temps que sa biréfringence diminue. Dès le milieu du versant, les séparations plasmiques ne sont plus observées dans ce plasma dont la structure est ici argilasépique. A l'inverse, des concentrations ferrugineuses diffuses et plus ou moins opaques se développent en place au sein de ce plasma, lui conférant une certaine hétérogénéité. Ces concentrations ferrugineuses aux contours mal définis sont des ébauches de micronodules (CHAUVEL, 1977). Le plasma entourant complètement les grains du squelette, il forme donc avec ce dernier un assemblage de type porphyrosquelique ;

- vides : sont peu abondants (moins de 15 % du fond matriciel) et principalement de type tubulaire.

En résumé, de l'étude microscopique de l'horizon dense profond, on retiendra surtout les importantes variations structurales observées à la base de cet horizon, de l'amont vers l'aval de la toposéquence. Ces variations latérales concernent l'atténuation progressive des orientations plasmiques et leur disparition vers l'aval où, à l'inverse, des ébauches de micronodules se différencient dans le fond matriciel.

B) LES EVOLUTIONS MICROSTRUCTURALES VERTICALES DANS L'HORIZON DENSE PROFOND

Vers le haut de l'horizon, des modifications structurales affectent l'ensemble du fond matriciel ; mais ces modifications sont différentes à l'amont, à l'aval de la toposéquence, ou sur le versant de celle-ci.

A l'amont de la toposéquence, on observe une multiplication des séparations plasmiques. Celles-ci deviennent plus fortes et continues, et s'orientent de plus en plus nettement suivant deux directions préférentielles, conférant ainsi au plasma une structure bimassépique. Progressivement, ces séparations plasmiques se généralisent, en même temps qu'elles apparaissent grossièrement perpendiculaires les unes aux autres ; elles individualisent alors des ébauches de micropeds (BREWER, 1964 ; MULLER, 1977) rouge sombre et faiblement biréfringents, discernables uniquement en LP, le plasma demeurant uniformément rouge et dense en LN (Fig. 2a). Puis, de fines zones légèrement décolorées, de quelques micromètres de large, apparaissent au niveau des séparations plasmiques. Au sein de ces zones décolorées, se développent des microfentes d'abord effilochées (Fig. 2b), puis de plus en plus anastomosées par fusion (Fig. 2c). Progressivement, ces microfentes s'élargissent pour constituer des vides d'entassement délimitant des microagrégats élémentaires appelés micropeds (BREWER, 1964). Ces microagrégats sont interconnectés et séparés par des vides à bords concaves (Fig. 2d). Ils sont rouges à rouge foncé, faiblement biréfringents, mais présentent souvent des séparations plasmiques à leur périphérie ; leurs contours sont arrondis et leur diamètre varie entre 100 et 200 μm .

On passe ainsi progressivement d'un fond matriciel dense et homogène à un fond matriciel microagrégé et poreux au sommet de l'horizon.

A l'aval de la toposéquence, l'horizon dense profond est caractérisé par un fond matriciel orangé à plasma faiblement argilasépique, au sein duquel se différencient des concentrations plasmiques plus ou moins opaques qui sont des ébauches de micronodules (Fig. 3 a).

Vers le haut du profil, les ébauches de micronodules se multiplient. Le fond matriciel initial ne s'observe plus alors que sous forme de petites zones intermicronodulaires claires (Fig. 3b). Des micronodules arrondis, de 200 à 300 μm de diamètre, orangé très sombre en LN et isotiques en LP deviennent parfaitement individualisés lorsque ces zones intermicronodulaires disparaissent. Cependant ils restent, comme les micropeds à l'amont de la toposéquence, connectés les uns aux autres et séparés par des vides anastomosés (Fig. 3c).

Sur le versant de l'interfluve, les évolutions microstructurales sont plus complexes. En effet, l'horizon présente à sa base un nombre considérable d'ébauches de micronodules rouge-orangé foncé au sein d'un fond matriciel plus pâle et dense, à plasma faiblement argilasépique. Vers le haut de l'horizon, les ébauches de micronodules deviennent de moins en moins discernables et disparaissent progressivement, en même temps que le plasma, devenu homogène, apparaît plus rouge et fortement orienté ; il présente en effet des séparations plasmiques de plus en plus intenses vers le haut. Ensuite, comme à l'amont de la toposéquence, ces séparations

plasmiques se généralisent et précèdent la fragmentation du plasma au sommet de l'horizon.

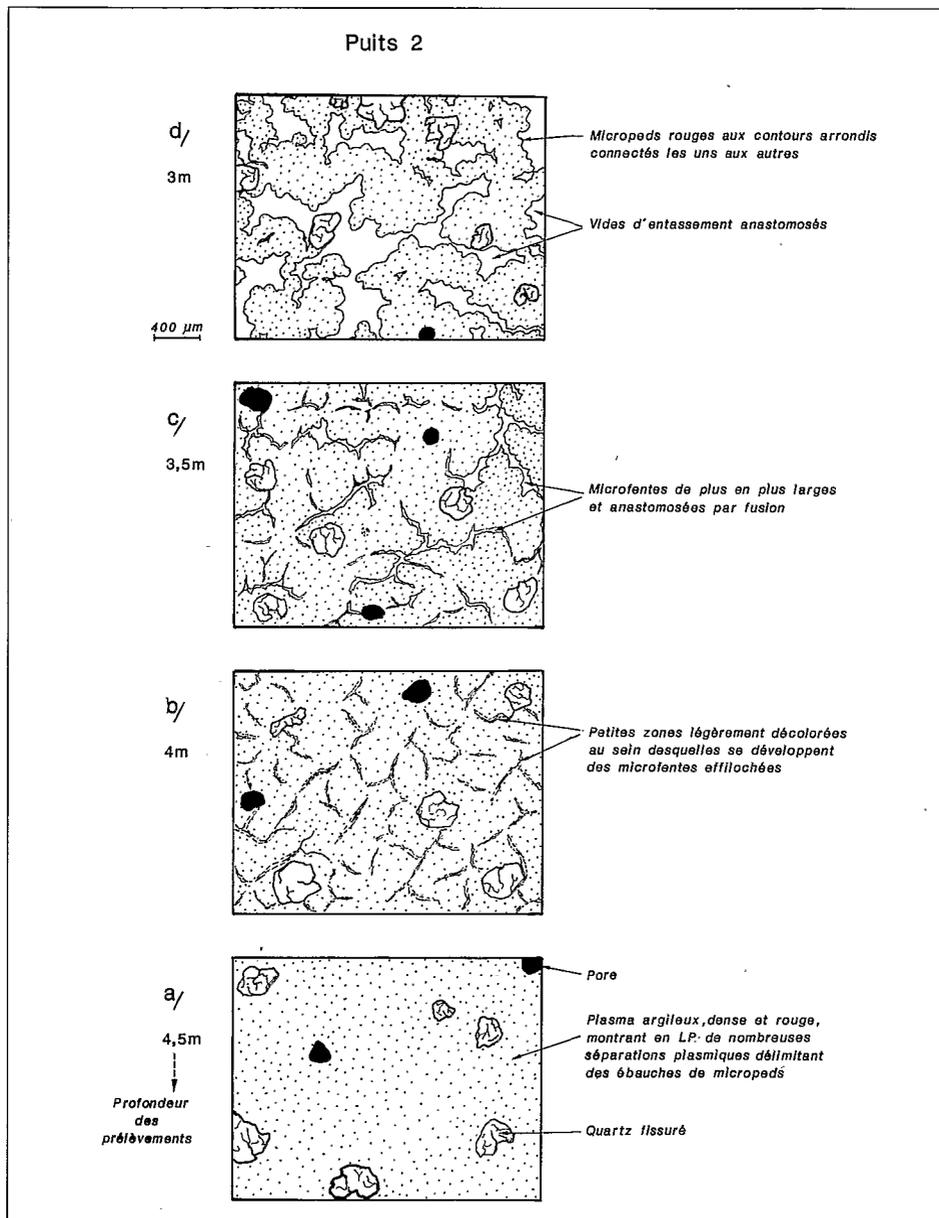


Figure 2 : Evolution microstructurale de l'horizon dense profond à l'amont de la toposéquence, de sa base à son sommet.

Microstructural evolution of the dense and deep horizon at the upper part of the toposequence, from the bottom to the top.

C) ETUDE MICROSCOPIQUE DE L'HORIZON ALIATIQUE

L'horizon aliatique montre un fond matriciel fortement microagrégé, poreux et à quartz (15 % du fond matriciel) hétérométriques et fissurés, associés à quelques phases denses et massives.

Les microagrégats sont interconnectés et forment une trame continue et poreuse. D'un diamètre variant entre 100 et 200 μm , ils sont rouges et faiblement biréfringents à l'amont de la toposéquence, mais orangé sombre ou opaques à l'aval où par ailleurs leur diamètre atteint 300 μm .

Les phases denses ou à microagrégats peu différenciés sont rouges et rares (5% de l'horizon) à l'amont de la toposéquence ; leur plasma est argilasépique ou localement insépique. A l'aval, ces phases denses, qui atteignent 30 % de l'horizon, apparaissent orangé sombre ou plus ou moins opaques.

Les nombreux agrotubules, principaux traits pédologiques de l'horizon, et le nombre considérable de tubes et pores d'origine biologique, révèlent une intense activité de la microfaune du sol.

Les caractères essentiels de l'horizon aliatique sont donc sa structure microagrégée, sa forte porosité et la forte activité biologique dont il est le siège. Le long de la toposéquence, des variations latérales sont observées ; elles concernent le nombre de phases denses non microagrégées qui s'accroît vers l'aval, et surtout la différence de morphologie des microagrégats dont la taille est plus grande et dont la biréfringence est totalement masquée à l'aval.

III. DISCUSSIONS ET INTERPRÉTATIONS

L'horizon dense profond subit donc, de bas en haut, deux principales évolutions microstructurales qui varient avec la position topographique, mais aboutissent toutes à la formation d'un horizon microagrégé. La première, qui s'observe à l'amont de la toposéquence, est marquée par le développement intense de séparations plasmiques, suivi de la fragmentation du fond matriciel, et aboutit alors à l'individualisation progressive de microagrégats élémentaires anisotropes, présentant souvent un fin cortex de séparations plasmiques. Leur diamètre varie de 100 à 200 μm . La deuxième évolution microstructurale s'observe à l'aval de la toposéquence ; elle est caractérisée par le développement de concentrations ferrugineuses authigènes dans une matrice qui, contrairement à l'amont de la toposéquence, ne présente pas de séparations plasmiques. Elle aboutit à la différenciation de microagrégats plus ou moins opaques et sensiblement plus gros que les précédents (200 à 300 μm).

Sur le versant de la toposéquence, les deux modes de microstructuration se relaient. A la base de l'horizon dense profond, se différencient des concentrations ferrugineuses ; celles-ci s'estompent progressivement et disparaissent vers le haut, simultanément au développement de séparations plasmiques précédant la fragmentation de la matrice (Fig. 4).

Dans le premier mode, les microagrégats élémentaires, ou micropeds, sont issus d'une réorganisation puis d'une réticulation du plasma. ils ont été décrits et dénommés

MICROSTRUCTURATION DE SOLS FERRALLITIQUES ROUGES AU CAMEROUN

"micropeds de réseau ou d'organisation" dans des sols ferrallitiques analogues du Centre-Cameroun (MULLER, 1977), situés en position haute dans le paysage. Aucune trace de concentrations ferrugineuses n'est notée.

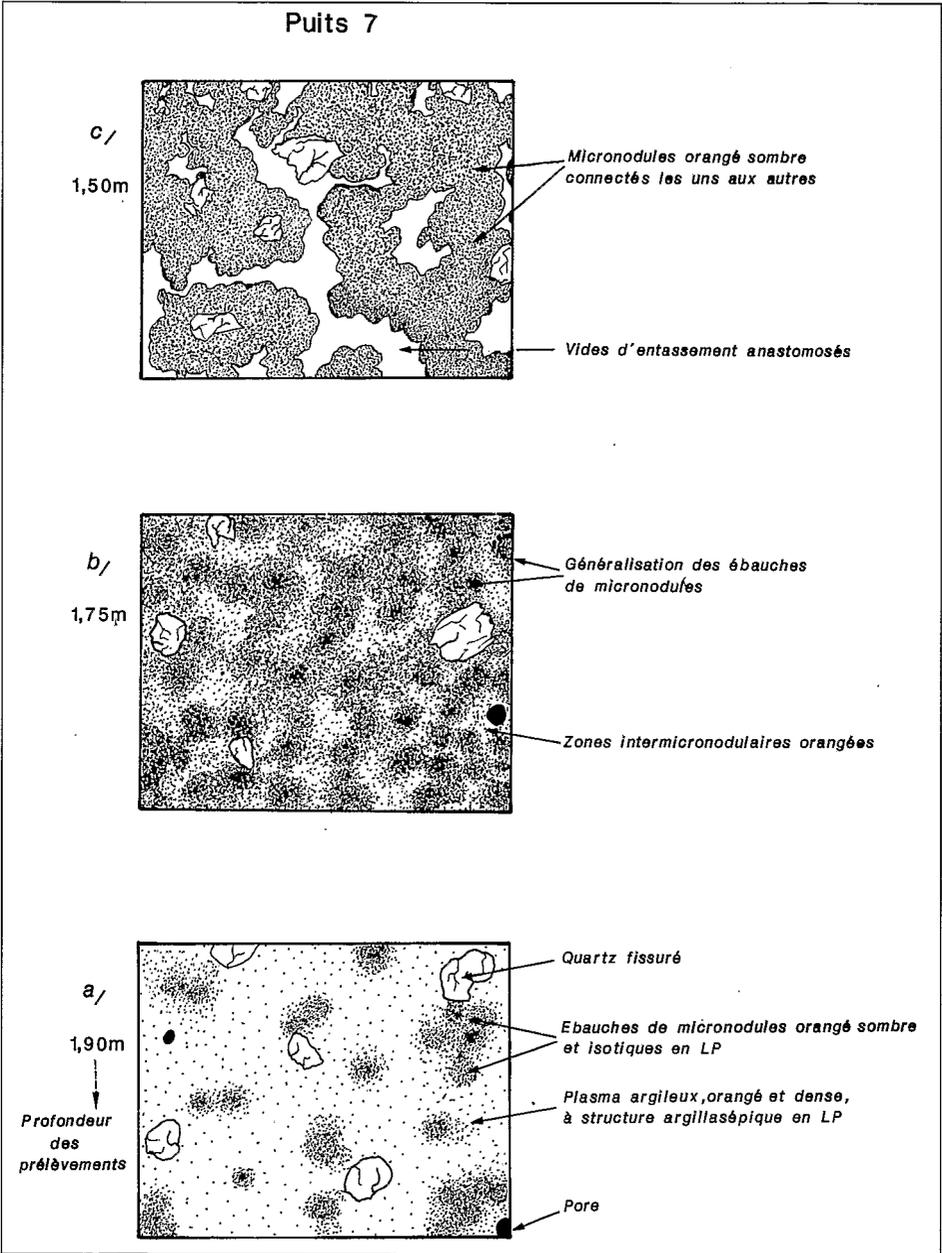


Fig. 3 : Evolution microstructurale de l'horizon dense profond à l'aval de la toposéquence, de sa base à son sommet.

Microstructural evolution of the dense and deep horizon at the lower part of the toposequence, from the bottom to the top.

Le second mode de microagrégation est caractérisé par la différenciation de concentrations ferrugineuses authigènes plus ou moins opaques au sein d'un fond matriciel clair. Les microagrégats, qui s'individualisent lorsque le fond matriciel initial disparaît, sont des micronodules très denses, quasi opaques. A l'inverse de ce qui se passe dans d'autres régions tropicales où cette microagrégation par micronodulation est un phénomène général (BEAUDOU, 1972 ; PEDRO *et al.*, 1976 ; CHAUVEL, 1977), elle ne se manifeste ici qu'à la partie aval de la toposéquence.

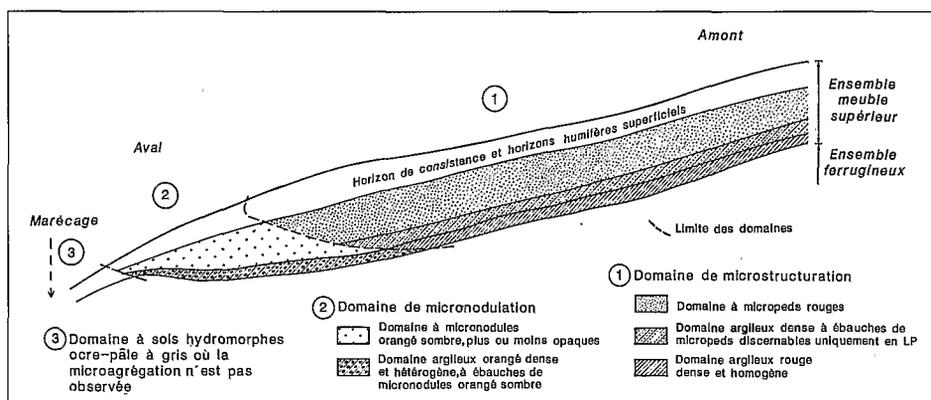


Figure 4 : Localisation schématique des différents domaines de microagrégation dans les horizons denses profonds et alliatiques.

Schematic location of the different microaggregating domains in the dense and deep horizon and in the alliotic horizon.

Le changement de mode de microagrégation dans l'horizon dense profond, de l'amont à l'aval de la toposéquence, peut être mis en relation avec les variations du régime hydrique des zones profondes des profils. A l'amont, l'horizon dense est très éloigné du toit de la nappe phréatique alors qu'il en est relativement proche à l'aval.

Dans le domaine amont, très loin de la zone saturée, la forte individualisation d'orientations plasmiques, qui caractérise le premier mode de microagrégation, serait l'expression des alternances régulières de cycles humectation-dessiccation que subirait ce matériau (BREWER, 1964 ; BOULET, 1974).

Dans le domaine aval, la proximité de la nappe maintient un milieu humide en permanence. Les particules argileuses, soumises à de moindres contraintes hydriques ne se réorienteraient plus. On passe alors à un mode de formation des microagrégats par diffusion et concentration du fer centripète, aux échelles microscopiques. Une fois que le processus est initié, il s'autodéveloppe comme dans le premier mode de microagrégation, ce qui conduit à l'individualisation d'horizons alliatiques qui restent toujours des milieux très aérés et filtrants.

La superposition verticale des deux modes de microagrégation sur le versant (Fig. 4) proviendrait d'une variation dans le temps du régime hydrique à la base des profils. Ainsi, la microstructuration qui s'observe dans la partie supérieure de l'horizon dense profond correspondrait à une pédogénèse ancienne en condition d'excellent drainage

interne, tandis que la micronodulation qui prévaut en profondeur correspondrait à la pédogenèse actuelle en milieu moins bien drainé (moindre éloignement de la zone saturée).

CONCLUSION

Une étude pétrographique détaillée des structichrons d'une couverture ferrallitique rouge épaisse du Sud-Cameroun met en évidence deux modes de microagrégation. Ces deux modes se relaient latéralement le long d'une toposéquence allant du sommet d'un interfluve légèrement convexe à un marécage, et verticalement dans les profils sur le versant. Ils conduisent à l'individualisation d'horizons aliatiques aux caractères macroscopiques identiques, mais formés de microagrégats morphologiquement distincts.

Ces modes de microagrégation ont déjà été décrits l'un ou l'autre dans des zones climatiques différentes par MULLER (1977) au Cameroun et par CHAUVEL (1977) au Sénégal. Leur juxtaposition à l'intérieur d'une même toposéquence est l'indication, qu'au delà du climat, c'est le régime hydrique prévalant à la base des profils qui contrôle le mode de microagrégation.

Reçu pour publication : Octobre 1990

Accepté pour publication : Août 1991

BIBLIOGRAPHIE

- BEAUDOU A.G., 1972 - Expression micromorphologique de la microagrégation et de l'illuviation dans certains horizons de sols ferrallitiques centrafricains et dans les sols hydromorphes associés. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, X, 4, 357-371.
- BENNEMA J., JONGERIUS A. & LEMOS R.C., 1970 - Micromorphology of some oxic and argillic horizons in south Brazil in relation to weathering sequences. *Geoderma*, 4, 333-355.
- BLACKMORE A. V., 1973 - Aggregation of clay by the product of iron (III) hydrolysis. *Aust. Journ. Soil Res.*, II, 75-82.
- BOULET R., 1974 - *Toposéquences de sols tropicaux en Haute-Volta : équilibre et déséquilibre paléobioclimatique*. Thèse d'Etat, Univ. Strasbourg et Mém. ORSTOM, 85, 330 p.
- BREWER R., 1964 - *Fabric and mineral analysis of soils*. J. Wiley and Sons, New-York, 470 p.
- CHATELIN Y. et MARTIN D., 1972 - Recherche d'une terminologie typologique applicable aux sols ferrallitiques. *Cah. ORSTOM, sér. pédol.*, X, 1, 22-43.

- CHAUVEL A., 1977 - Recherches sur la transformation des sols ferrallitiques dans la zone tropicale à saisons contrastées. Evolution et réorganisation des sols rouges de Moyenne Casamance (Sénégal). *Trav. et Doc. ORSTOM*, **62**, 532 p.
- CHAUVEL A. et MONNIER G., 1967 - Sur la signification de l'analyse granulométrique en pédologie. Examen de problèmes posés par la caractérisation de la texture de certains sols tropicaux. *C.R. Acad. Sci.*, Paris, D, **264**, 1969-1972.
- CHAUVEL A. et PEDRO G., 1967 - Considération sur l'analyse granulométrique et le problème de la détermination de la constitution minéralogique élémentaire de certains sols tropicaux. Nécessité et limite de la déferrification. *C.R. Acad. Sci.*, Paris, D, **264**, 2089-2092.
- EMBRECHTS J., 1986 - Pedogenesis in relation to landscape development in a humid subequatorial climate (Yaounde, Cameroon). *Academiae Analecta*, **48**, 2, Brussel, 1-41.
- EMBRECHTS J. & SYS C., 1988 - Genesis of subsurface horizons of a soil catena in a humid tropical climate (Yaounde, Cameroon). *Catena*, **15**, 53-63.
- ESWARAN H., 1972 - Micromorphological indicators of pedogenesis in some tropical soils derived from basalt from Nicaragua. *Geoderma*, **7**, 15-31.
- HUMBEL F. X., 1976 - *L'espace poral des sols ferrallitiques du Cameroun ; caractéristiques et comportement en relation avec les régimes hydriques et les bioclimats*. Thèse d'Etat, Univ. Paris VI et Trav. et Doc ORSTOM, **54**, 301 p.
- LARUELLE J., 1956 - Quelques aspects de la microstructure des sols du Nord-Est du Congo Belge. *Pédologie*, **IV**, 38-57.
- MULLER J. P., 1977 - Microstructuration des structichrons à l'amont des modelés convexes (Centre Cameroun). *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, **XV**, 3, 237-258.
- PEDRO G., CHAUVEL A. et MELFI A. J., 1976 - Recherches sur la constitution et la génèse des terra roxa estructurada du Brésil. Introduction à une étude de la pédogénèse ferrallitique. *Ann. Agron.*, **27**, 3, 265-294.
- ROSELLO V., MULLER J. P., ILDEFONSE P. et BOCQUIER G., 1982 - Analyse de transformations structurales et minéralogiques par altération et pédogénèse d'une migmatite de l'Est Cameroun. *Ann. Fac. Sci. Yaoundé*, **IV**, 1, 7-34.
- RUTHERFORD G. K., 1969 - Initial study of the genesis of a laterite from Guyana using micromorphology and the electron microprobe. Third Intern. Working Meeting Soil Micromorphology. Wroclaw.
- STOOPS G., 1968 - Micromorphology of some characteristic soils of lower Congo (Kinshasa). *Pédologie*, **18**, 110-149.