

# Microstructuration des structichrons rouges ferrallitiques, à l'amont des modelés convexes (Centre-Cameroun)

## Aspects morphologiques

Jean-Pierre MULLER

Pédologue ORSTOM

Institut de Recherches Agricoles et Forestières (IRAF)  
de l'Office National de la Recherche Scientifique et Technique  
du Cameroun (ONAREST)  
B.P. 2067, Yaoundé, Cameroun.

### RÉSUMÉ

Les horizons B, rouges et meubles (structichrons), d'accumulation d'hydroxydes de fer des sols ferrallitiques Centre-Camerounais, subissent une pédogenèse récente (ou actuelle) dont les processus affectant le plasma originel peuvent se regrouper en mécanismes de microréorganisation et en mécanismes de micro-désorganisation.

Cet article traite de la microstructuration des structichrons rouge-sombre, denses, compacts, profonds. Cette différenciation, à polarité verticale ascendante, paraît être, en première approximation, essentiellement un processus physique de fragmentation. Elle conduit progressivement, de bas en haut des profils, à l'individualisation d'organisations élémentaires tridimensionnelles, caractéristiques d'un horizon aliatique. La typologie et la localisation de ces microorganisations nous permettent en fait d'envisager divers types génétiques (micropeds de réseau, ferritisés, zoogénètes, complexes, et micronodules), suivant que leur formation est déterminée dès l'altération (héritage), par la simple apparition d'un réseau de séparations plasmiques dans un structichron homogène, par une ferritisation préalable de ce structichron ou par la pédoturbation d'origine biologique. Plusieurs formes, ou phases apédales, réfractaires à cette microstructuration (noyaux argileux, plasmas relictuels), sont décrites.

Une concordance des organisations aux différentes échelles permet d'établir une bonne corrélation entre les variations macrostructurales et la différenciation de la fabrique plasmique.

### SUMMARY

The well structured, red, oxic-B horizons (« structichrons ») of the Central Cameroon ferrallitic soils undergo a present pedogenetic process. The original plasma is changed through the mechanisms of micro reorganisation and micro desorganization.

This paper discusses the process of micro-reorganization (or microstructuring) of the dusky red, dense, compact and deep oxic-B horizons. This process essentially seems to be a physical fragmentation process, which leads progressively from the deeper sub-horizons upwards, to the formation of individual primary structural elements of « microaggregates », characteristic of an aliatic horizon.

The characterization and arrangement of these micro-organizations allows the recognition of different genetic types, as network-, relict-, ferritic-, zoogenetic-, and complex micropeds, and micronodules depending upon whether their formation is determined by inherited weathering, plasma separation, a previous ferritisation process, or by pedoturbation of biologic origin. Different apedal phases unaffected by this microstructuring as « clay nodules » and relict plasmas, are described as well.

The relation of the organization at different levels makes it possible to establish a correlation between the macro structural variations and the vertical differentiation of the plasma fabric.

## PLAN

1. INTRODUCTION
2. LE PHÉNOMÈNE DE MICROSTRUCTURATION
  - 2.1. Caractères morphologiques généraux des structichrons.
    - 2.1.1. Structichrons denses profonds.
    - 2.1.2. Structichrons mixtes à phases dense et microstructurée associées.
    - 2.1.3. Structichrons microstructurés ou aliatiques.
  - 2.2. Les composantes de l'organisation.
    - 2.2.1. La macrostructure.
    - 2.2.2. La microstructure.
    - 2.2.3. Liaison macro-microstructure.
3. CONCLUSIONS
  - 3.1. Pédogenèse actuelle des structichrons.
  - 3.2. La microstructuration, différenciation à polarité verticale ascendante.
  - 3.3. Essai de classification typologique et génétique des microorganisations tridimensionnelles, microréseaux et phases apédales.
  - 3.4. Le rôle de la faune.
4. CONFRONTATION AVEC DES DONNÉES BIBLIOGRAPHIQUES

## BIBLIOGRAPHIE

## 1. INTRODUCTION

Sous un climat de type sub-équatorial (P = 1,500 mm, température moyenne de 24 °C, humidité relative de 70 à 90 %...), sur socle, sous végétation forestière, le milieu ferrallitique Centre-Camerounais manifeste une relative uniformité : Uniformité du modelé constitué d'une juxtaposition d'unités approximativement convexes (Martin, 1967), ou celle des formations pédologiques caractérisées par une large extension de sols rouges épais, et une généralisation des accumulations ferrugineuses profondes.

Le continuum ferrallitique apparaît ainsi, en première approximation, comme un immense « manteau » rouge d'accumulation de fer et d'argile, en formations meubles et indurées (Martin, 1970), reposant sur une altérite non moins considérable, claire, poreuse, qui constitue un milieu de départ caractéristique (relativement à la roche saine). Chaque unité de modelé représente une sorte d'amont rouge hypertrophié et homogène. Des différenciations latérales marquées n'apparaissent qu'à l'extrême aval des toposéquences.

Une toposéquence a été étudiée à Goyoum (J.P. Muller, F.X. Humbel, 1975, J.P. Muller, 1974a) (5°14' N, 13°23' E). Dans cet article nous ne nous préoccupons que des sols de l'amont et plus précisé-

ment des organisations de leurs horizons B meubles et rouges sus-jacents aux formations indurées (structichrons de Chatelin et Martin, 1972). Ces sols et horizons, situés à 30 m environ au-dessus du thalweg, sont donc en condition de bon drainage.

Lors d'une description rapide ces horizons nous paraissent figés. Peu de caractéristiques marquantes sont relevées. Les variations verticales sont souvent éludées, parce que diffuses. Dans la littérature les exemples de termes imprécis, de polysémies et connotations sont nombreux (Chatelin et Martin, 1972). Ces derniers traduisent souvent l'embarras de l'observateur à appliquer la terminologie habituelle, celle du Glossaire. Mais ils sont aussi révélateurs d'une certaine méconnaissance de ces sols : des faits nouveaux sont pressentis, mais faute d'être approfondis ils ne peuvent être formulés avec toute la rigueur et la stabilité souhaitables.

Des progrès récents (Fauck 1971-74, Beaudou 1972, Chauvel 1976), réalisés dans la connaissance de ces horizons ou d'horizons voisins, montrent que ces difficultés pratiques sont surmontables si une acuité suffisante est donnée à l'observation. Ainsi un examen très minutieux permet de distinguer dans cet ensemble « monotone » des horizons et phases caractéristiques, un gradient vertical (et latéral ?) de transformation, ou l'existence d'une organisation structurale spécifique aux échelles microscopiques. Tous ces traits indiquent que ces matériaux sont eux-mêmes soumis à une pédogenèse, récente relativement à l'histoire de ces sols.

L'expression morphologique résultante est essentiellement une séquence verticale structurale, à degré de généralité élevé dans la région. Nous nous proposons dans cette étude d'en définir les composantes macro et micromorphologiques et d'en expliquer la genèse en essayant de déterminer la chronologie des événements pédologiques.

## 2. LE PHÉNOMÈNE DE MICROSTRUCTURATION

## 2.1. Caractères morphologiques généraux des structichrons (fig. 1)

Les horizons B meubles étudiés ici correspondent à la définition du *structichron* donnée par Chatelin et Martin (1972) (de structure et du grec chroma = couleur) : « Horizons minéraux meubles qui possè-

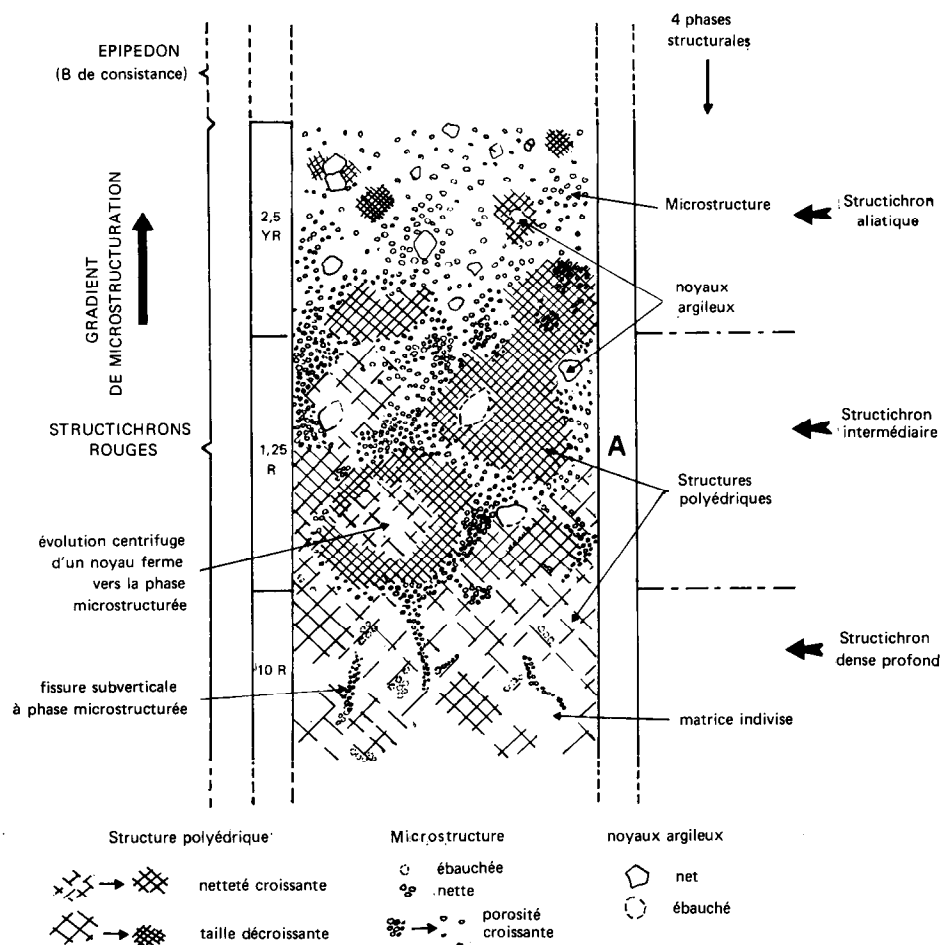


FIG. 1. — Schéma d'évolution verticale de la structure des structichrons.

dent une organisation structurale proprement pédologique... La pédoplasation s'est effectuée par argillification, division des particules, homogénéisation... ils présentent le maximum de différenciation de la couleur rouge (ou jaune). La couleur y est homogène ou peu hétérogène. Les minéraux caractéristiques de la ferrallitisation, kaolinite et sesquioxydes sont abondants... L'horizon peut contenir des éléments grossiers dont le taux ne dépasse pas 60 % du poids de l'ensemble».

L'analyse morphologique des horizons successifs montre que chaque horizon dérive de la transformation des horizons sous-jacents. La description des faits

morphologiques se fera donc de la base vers le haut des profils. Trois horizons majeurs, faiblement contrastés du point de vue de la couleur, caractérisent la différenciation verticale des structichrons. Les transitions sont très progressives entre ces horizons dont l'épaisseur est multimétrique.

De bas en haut des profils apparaissent progressivement des microorganisations tridimensionnelles. Leur typologie et genèse seront explicitées dans l'étude microscopique. Afin de simplifier les descriptions nous ne ferons allusion dans ce paragraphe qu'au type le plus courant de ces organisations, des éléments structuraux élémentaires, appelés *micropeds* suivant la terminologie de Brewer (1964).

### 2.1.1. STRUCTICHRONS DENSES, PROFONDS

#### *Macromorphologie*

Très rouges (10 R). Argileux. Structure polyédrique généralisée, moyenne à grossière, à netteté variable suivant les domaines. Les faces structurales sont planes, lisses, voire luisantes, et présentent de rares facettes striées. L'assemblage est compact. Les agrégats sont fermes, la cohésion est assez forte, la porosité apparente faible. Transition très progressive.

#### *Micromorphologie*

Squelette quartzueux peu abondant et dispersé. Plasma dense, rouge vif en LPNA, rouge sombre en LPA (1). Plasma faiblement argillasépique, avec quelques plages insépiques éparses. Assemblage porphyrosquelique. Rares micropeds à l'état d'ébauches. Rares taches de plasma décoloré. Méso-orthocavités et méso-orthofentes, intraplasmiques, peu nombreuses, irrégulières, très localement anastomosées. Rares aggotubules.

### 2.1.2. STRUCTICHRONS MIXTES À PHASES DENSE ET MICROSTRUCTURÉE ASSOCIÉES

#### *Macromorphologie*

Horizons rouges (1,25-10 R), argileux, denses et compacts aux échelles décimétriques. Structure grenue, à agrégats millimétriques, sub-arrondis, variablement friables, en assemblage lâche. Phase dense en continuité avec celle des horizons sous-jacents : encore compacte, elle a une structure plus nettement exprimée, polyédrique moyenne à très fine. Les faces structurales sont anguleuses et lisses, les facettes planes abondantes. De rares faces striées sont observées. Certains domaines centimétriques restent denses, non structurés, non poreux. La porosité d'ensemble est plus forte. Les transitions sont généralement progressives entre ces différentes phases. Une légère variation de teinte est liée à celle de la structure : domaines microstructurés plus clairs. Transition très progressive.

#### *Micromorphologie*

Squelette quartzueux peu abondant et deux phases plasmiques à limites diffuses :

(a) Phase rouge dense, homologue de la phase matricielle des structichrons denses ; en volumes apédiques de dimensions hétérogènes. Microfentes et cavités plus nombreuses. Structure plasmique ma-insépique. Assemblage porphyrosquelique. Micropeds (homochromes) mieux individualisés que précédemment (séparations périphériques nettes).

(b) Phase décolorée brun rougeâtre, discontinue ou formant un réseau très lâche, rouge orangé, avec méso-microvides et cavités plus nombreuses, à pédoturbation (aggotubules) plus marquée, ma-in-lattisépique, donc mieux orientée. Elle inclut, isolés ou contigus, des micropeds restés plus rouges que la matrice décolorée, parfois limités par une microfente périphérique.

### 2.1.3. STRUCTICHRONS MICROSTRUCTURÉS OU ALIATIQUES

#### *Macromorphologie*

Horizons rouges (2,5 à 3,75 YR) et argileux, à structure microgrenue généralisée, friables (à l'échelle centimétrique), à porosité d'assemblage exceptionnellement forte, dite structure « aliatique ». La masse de l'horizon s'est très finement structurée alors que la matrice dense primitive s'est réduite à des volumes centimétriques à millimétriques, isolés ou lâchement anastomosés. Quelques-uns de ces derniers se divisent déjà en très fins polyèdres à porosité inter ou intrapédique accrue, d'autres, nommés « noyaux argileux », plus rares et isolés, ont conservé leur compacité.

#### *Micromorphologie*

Même squelette et forte pédoturbation, notamment de la phase microstructurée :

(a) Phase (rouge) dense très réduite, avec une accentuation de la structure plasmique in-lattisépique en général, à l'exception de quelques plages rouge vif (LI), faiblement insépiques, qui paraissent réfractaires à la formation de micropeds.

(b) Phase microstructurée, homologue de la phase décolorée précitée, généralisée, notablement décolorée surtout dans ses parties intermicrostructurales, parcourue par un réseau de vides anastomosés. Les micropeds, nombreux, de 100-200  $\mu$  en moyenne, sont fortement individualisés par leur forme arrondie, leur contraste de structure et de couleur, la présence de séparations plasmiques externes, l'élargissement des microfentes périphériques en vides d'entassement. Forte pédoturbation de cette phase microstructurée.

(1) LPA : lumière polarisée analysée - LPNA : lumière polarisée non analysée - LI : lumière incidente.

## 2.2. Les composantes de l'organisation

Les descriptions précédentes attestent que ces horizons se différencient essentiellement par leurs macro et microorganisations.

### 2.2.1. LA MACROSTRUCTURE

#### 2.2.1.1. Quatre éléments structuraux principaux la composent

On observe plusieurs types d'agrégats différenciés par leur forme, taille, porosité... Il semble néanmoins possible de définir les structures à différents niveaux par la juxtaposition ou l'association de quatre éléments principaux :

— Des *agrégats polyédriques*, à arêtes anguleuses, faces structurales planes et lisses, voire luisantes. Dans les structichrons profonds ils sont plutôt grossiers (2-3 cm), souvent mal individualisés, à allongement subvertical fréquent, peu friables et peu poreux. Ils apparaissent progressivement plus petits, bien individualisés (faces structurales nettes), friables et poreux dans la phase dense des horizons à microstructure développée.

— Des *agrégats millimétriques* (inf. à 3 mm), en fait agglomérats de micropeds, à la limite de l'observation de terrain, subanguleux, voire arrondis, friables à très friables (1). Leur assemblage lâche définit une forte porosité interstitielle. Cette structure est diversement appelée microgrenue, aliatique, pseudo-particulaire... dans la littérature.

— Des « *noyaux argileux* » denses, de taille variée, multimillimétriques à centimétriques, de forme subanguleuse à arrondie, aux limites souvent nettes avec la matrice, à fond matriciel compact, à très faible porosité tubulaire, peu ou non friables, rarement fracturés.

— Une *matrice indivise*, volumes dans lesquels les faces structurales sont rares et isolées, localisée dans les structichrons profonds.

#### 2.2.1.2. L'hétérogénéité induite

A l'homogénéité apparente des profils, les divers modes d'association de ces quatre éléments structuraux superpose donc une hétérogénéité souvent discrète des horizons. Elle se traduit notamment par :

— Des nuances de teinte : phase microstructurée souvent plus claire et « noyaux argileux » fréquem-

ment plus rouges et sombres que la phase à structure polyédrique.

— Des variations de porosité : agrégats polyédriques à forte porosité tubulaire, très forte porosité d'assemblage de la phase microstructurée, très faible porosité tubulaire des « noyaux argileux ».

— Des inégalités de consistance (qui sont souvent le fait des assemblages) : agrégats polyédriques peu friables (base) à friables (haut), assemblages très friables de microagrégats (lesquels sont à la limite d'une détermination possible), noyaux argileux généralement non friables.

#### 2.2.1.3. Les filiations structurales

L'examen macromorphologique permet d'observer une filiation entre la plupart des éléments structuraux.

Ainsi, à l'échelle du profil, le passage diffus des horizons rouges compacts profonds aux horizons microstructurés se fait par développement progressif d'une structure polyédrique dont la netteté va croissant, la taille des agrégats s'amenuisant. Graduellement apparaît la phase microgrenue, d'abord préférentiellement située le long de fissures subverticales, puis se généralisant vers le haut du profil. Cette phase isole alors des volumes denses dont la taille et le nombre décroissent en même temps qu'ils s'émeussent, pour ne plus apparaître qu'occasionnellement dans ceux des horizons les plus microstructurés.

De même, à l'échelle de la phase, l'examen de certains volumes millimétriques à centimétriques denses montre souvent une évolution centrifuge d'un « noyau » compact, peu friable, peu poreux vers la phase microgrenue, par l'intermédiaire d'une phase polyédrique meuble et fine, très poreuse. A cette fragmentation correspond un gradient de teinte décroissant (rouge sombre vers rouge brunâtre). La progressivité des transitions entre ces phases suggère donc la microstructuration d'une phase argileuse rouge dense vers le haut du profil. Cette dernière est considérée comme *matériau originel de la séquence structurale*.

### 2.2.2. LA MICROSTRUCTURE

#### 2.2.2.1. Différenciation verticale du fond matriciel et genèse des micropeds (la structure plasmique et les assemblages ont été définis à un grossissement voisin de 150)

Le plasma est très abondant. Sa couleur, et surtout sa structure et l'assemblage qu'elle induit, sont les

(1) Se réfère en fait à la cohésion définie par l'assemblage d'éléments très petits.

principaux critères de différenciation des horizons entre eux. L'examen micromorphologique fait apparaître deux phases au niveau de chaque horizon : une phase compacte, quasi exclusive au niveau des structichrons profonds, associée à une phase microgrenue dans les horizons intermédiaires, cette dernière prédominant dans les horizons aliatiques. A cette organisation correspond une différenciation verticale du fond matriciel et tout particulièrement de la structure plasmique.

Le plasma des structichrons profonds, faiblement orienté, présente une structure *argillasépique à faiblement insépique* (planche I, 1). La porosité est essentiellement constituée d'orthomésorfentes très allongées, irrégulières, à répartition désordonnée, isolées ou lâchement anastomosées. Elles sont les plus nombreuses et en tout cas les mieux définies dans ces horizons compacts (planche I, 2).

Progressivement et de bas en haut la structure argillasépique tend à disparaître. Des stries apparaissent en petits îlots de 10-20  $\mu$  (structure insépique, planche I, 3), ou en quelques domaines allongés de plus grande taille (parfois plus de 500  $\mu$ , structure masépique, planche I, 4). Ces séparations plasmiques dispersées sont de plus en plus biréfringentes et sont irrégulièrement réparties (planche I, 5) : certains domaines restent asépiques ou faiblement insépiques. Progressivement aussi certaines séparations plasmiques s'organisent en réseau délimitant des zones de plasma, sphéroïdales, à assemblage interne asépique ou insépique nettement moins orienté que celui du plasma environnant (planche I, 6). Il s'agit d'*ébauches de micropeds* (1). Elles sont de même teinte que le plasma environnant donc indiscernables en LPNA : seules les séparations plasmiques les bordant sont visibles en lumière polarisée analysée (planche II, 1 et 2). Ces ébauches n'apparaissent pas dans les plages fortement striées (planche I, 4). Elles croissent en nombre et contraste vers le haut des profils. Elles présentent de faibles variations de taille (50-200  $\mu$  en moyenne). Cette dernière semble cependant varier en raison inverse du degré de développement de la structure plasmique.

Puis le *réseau* (2) de séparations plasmiques se renforce (planche II, 3) en même temps qu'une *légère décoloration* du plasma à faible orientation désor-

donnée apparaît. Corrélativement le contraste des micropeds, restés rouges, s'accroît. La structure plasmique prend progressivement une allure ma-in-lattisépique (planche II, 4) (3). Cette structure et la microstructuration induite n'affectent qu'une partie du plasma, d'où la présence de deux phases associées, dense et microstructurée.

Plus haut encore, la phase microstructurée se développe : les micropeds sont contrastés (rouges dans un plasma de plus en plus décoloré), et leurs séparations plasmiques périphériques présentent une forte biréfringence. Ils sont localement contigus (planche II, 5). Ils apparaissent partiellement ou totalement individualisés par un *réseau de microfentes* qui les contourne et précise leurs limites (planche II, 6). A la porosité de fissures précédente se substitue donc une porosité de microfentes courbes, de diamètre généralement inférieur à 30  $\mu$ . Isolées et rares quand les micropeds sont à l'état d'ébauches, ces dernières s'anastomosent d'abord en étoile puis en réseau lâche dès que la décoloration du plasma interpedal s'amorce et/ou que les micropeds deviennent plus abondants (planche III, 1). Le plasma non microstructuré, en régression, voit sa structure accentuer ou perdre son contraste selon que la décoloration reste faible ou est au contraire très marquée. La phase compacte, réfractaire à la microstructuration, est corrélativement plus contrastée.

Enfin la microstructuration se généralise dans les horizons aliatiques les plus typiques, la structure plasmique devenant in-vo-lattisépique. En effet, de plus en plus dense vers le haut du profil, le réseau de microfentes devient localement réticulé (treillis) en même temps que les fentes s'élargissent et que les micropeds s'arrondissent (mésovidés). Au stade final de la différenciation et dans les horizons fortement microstructurés, ils évoluent en *vides d'entassement* (planche III, 2, 3), dont la distribution quelconque est accentuée par l'action pédoturbatrice secondaire de la faune. Il s'agit généralement d'orthovides (4). Les volumes de plasma non microstructuré

et de séparations. De façon plus générale on peut, pour les besoins de la description, associer un tel réseau à un assemblage de micropeds en se fondant sur le fait que, génétiquement, l'un ou l'autre de ces aspects précède l'autre (Gavaud, 1976).

(3) Les micropeds sont en fait arrondis, l'aspect maillé à deux directions orthogonales des séparations plasmiques les limitant étant un artefact de polarisation.

(4) Notons qu'au stade ultime de la différenciation des micropeds, les séparations plasmiques délimitant ces derniers peuvent être considérés comme des *mésotrianes*, formant un cortex continu.

(1) Ces microorganisations répondent en effet à la définition donnée par Brewer (1964, p. 138).

(2) Dans un volume donné les micropeds peuvent avoir des formes, une structure plasmique, un mode d'arrangement uniforme. Ce dernier se manifeste, du fait des tailles très petites des micropeds, sous les apparences d'un *réseau* régulier de vides

et aseptique s'individualisent en « noyaux argileux » (planche III, 4 et 5).

Notons que dans les profils examinés la structure squelsépique est rare (planche III, 6).

#### 2.2.2.2. La structure élémentaire : typologie et genèse variées des micro-organisations tridimensionnelles

*Cas des structichrons homogènes* : la série évolutive évoquée ci-dessus est celle, la plus répandue, qui caractérise les structichrons homogènes de teinte. La décoloration qui affecte le plasma de ces derniers est diffuse. Cette « homogénéité » relative de teinte semble traduire une pédoplasmation (Flach *et al.* 1968) uniforme ayant effacé toute trace d'hétérogénéité du matériau originel. Elle semble attester aussi que les structichrons examinés n'ont subi en leur sein aucune évolution pédogénétique ultérieure et énergique (hydromorphie ou translocations par exemple).

Dans ces structichrons la « microstructuration » (ou, d'une façon plus générale, la genèse des micro-organisations tridimensionnelles) débute donc par un simple réarrangement plasmique sans qu'apparaissent, au stade d'ébauche, de changements de teinte traduisant d'éventuels déplacements de fer. Il s'agit donc bien d'une *fragmentation par réticulation du fond matriciel liée à une modification de la structure plasmique*. Celle-ci apparaît comme une réorganisation biaxiale d'une structure insépique. Parce que la structuration en *microréseau* est le processus fondamental et primitif de leur formation, nous les avons nommés *micropeds de réseau* (ou *d'organisation*). La décoloration différentielle et postérieure, du plasma non microstructuré, ne fait que renforcer l'individualisation de ces micropeds.

Ce type de micropeds est incontestablement le plus fréquent et caractérise fondamentalement les structichrons rouges des sols de l'amont des modelés convexes de la région.

*Cas des structichrons hétérogènes de teinte* : il s'agit en fait de phases hétérogènes, rares dans les sols étudiés, et de dimensions généralement inférieures à quelques centimètres. Elles sont caractérisées par la présence d'individus plasmiques micrométriques, rouge très vif en lumière incidente ou sombres en lumière polarisée non analysée. Ils sont emballés dans une matrice fortement décolorée, jaunâtre, à structure plasmique faiblement insépique. Leur limite est soit nette, soulignée alors par un cortex de séparations plasmiques, soit diffuse.

Leur teinte rouge contrastée paraît traduire une concentration ferrugineuse en leur sein. Il semble possible d'en distinguer deux types :

(a) Des individus sphéroïdaux rencontrés soit en profondeur dans les structichrons compacts profonds (les plus riches en fer), soit au sommet des structichrons lorsque la décoloration de la partie supérieure des profils est prononcée (planche IV, 1 et 2). Leur structure plasmique aseptique à faiblement insépique paraît masquée par les hydroxydes. Leur taille est voisine de celle des micropeds de réseau. Une concentration ferrugineuse secondaire à la formation des structichrons homogènes pourrait expliquer leur présence : Concentration relative en hydroxydes par décomplexation hétérogène du plasma ou ferritisation absolue par translocation (sans réseau), à petite et grande échelle mais très localisée, traduisant une hydromorphie naissante et/ou « avortée ». Il pourrait alors s'agir :

Soit de *micropeds ferritisés* lorsque cette concentration s'effectue au sein de micropeds formés (ou est concomitante à cette microstructuration) ;

Soit de véritables *micronodules* lorsque les deux processus de concentration ferrugineuse et de microstructuration manifestent une certaine indépendance.

(b) Des individus de formes plus variées, sphéroïdales, polysphédrales voire polyédriques (planche IV, 3), dont l'éventail des tailles est très ouvert (jusque 500  $\mu$ ). En lumière polarisée ils présentent une structure plasmique généralement insépique (voire masépique) dont les séparations plasmiques sont fréquemment plus nombreuses et plus biréfringentes que celles du plasma externe (planche IV, 4 et 5). Leurs limites sont généralement très nettes et soulignées par un cortex de séparations plasmiques. Comme les précédents, ces individus plasmiques sont rares (au moins dans les lames étudiées). Ils paraissent plutôt localisés dans les structichrons profonds, au voisinage des formations indurées à structure conservée (à faciès altéritique). Dans ce cas nous émettrons l'hypothèse d'une évolution différentielle d'un plasma dont l'hétérogénéité est héritée de celle du profil d'altération : Ces amas plasmiques rouge vif correspondraient soit à des zones préférentielles d'accumulation des hydroxydes dans l'altérite (« piège » ou minéraux basiques), soit à des minéraux résistants à l'altération. Dans ce dernier cas la coloration rouge exprimerait une phase de libération du fer et la structure masépique un héritage d'une texture phylliteuse des matériaux originels.

Il s'agirait donc de litho-pédoreliques micrométriques et ferruginisées dont la genèse a été fortement influencée par des conditions antérieures à celles qui ont présidé à la pédoplasation. Nous conviendrons alors de les appeler *micronodules relictuels* (1).

Notons que la formation de ces micronodules peut être individuelle ou résulter d'une organisation postérieure en réseau. Dans ce dernier cas on observe des plages de plusieurs centaines de microns, rouge vif, dont la structure plasmique de type insépique tend à se modifier en définissant des ébauches de micropeds de réseau. Il pourrait s'agir de reliques d'un plasma rouge vif originel subissant une réorganisation plasmique, à l'instar du plasma qui les emboîte, et postérieurement à leur individualisation.

*Les microagrégats d'origine biologique* : Les vides biologiques croissent en nombre de bas en haut des profils, au fur et à mesure que se développe la microstructure. On distingue :

— Des méso et macrocavités, généralement orthos, irrégulières et allongées, souvent interconnectées et aux parois mamelonnées dans les phases et horizons aliatiques, isolées et aux parois plus irrégulières et lisses dans les structichrons compacts.

— Des chenaux essentiellement orthos, mésovides à la base, macrovides plus ou moins anastomosés dès les horizons microstructurés.

— Des orthos et méta aggroutubules de tailles très variées, aux limites nettes à très diffuses, aux parois mamelonnées (planche I, 2). Ces pédotubules sont particulièrement abondants dans les horizons aliatiques ou ceux incluant une phase en voie de microstructuration. Ils peuvent alors être anastomosés. Leur nombre diminue dans les horizons compacts en même temps que leurs limites deviennent plus nettes et leur forme plus allongée. Ils sont emplis de *microagrégats biologiques* (ou *zoogénètes*) en assemblage plus ou moins lâche. Ces derniers sont sphéroïdaux, ellipsoïdaux ou irréguliers (planche IV, 6). On ne distingue pas d'orientations périphériques de plasma. Leur taille varie de 10 à plusieurs centaines de microns.

*Les micro-organisations complexes* : Leur genèse semble avoir combiné deux des processus ayant donné

(1) Aucun microdosage de fer n'ayant été réalisé et le caractère délicat de l'appréciation d'une réelle induration ne nous permettent pas d'apporter la certitude d'une réelle nodulation. Notons qu'à côté de ces « micronodules » existent de véritables nodules (dits « plombs de chasse »), dont la nature peut être testée sur le terrain.

naissance aux micro-organisations des types précédents. Ils sont rares. Nous avons distingué :

— Des micropeds de réseau en disposition concentriques (planche V, 1). De même teinte que le plasma environnant, ils ne se distinguent que par leurs séparations plasmiques en lumière polarisée analysée. Ce fait pourrait traduire une fragmentation progressive de gros micropeds en microagrégats de taille réduite (10-50  $\mu$ ).

— Des microagrégats biologiques englobant des micropeds de réseau ou des micronodules (planche V, 2 et 3). Le microagrégat hôte est de taille égale ou supérieure à celle du microped hérité inclus. La différenciation de ce dernier serait antérieure à la pédoturbation faunique.

2.2.2.3. *Résistance à la microstructuration* : *Les éléments apédaux*

Certains volumes denses semblent donc échapper à la microstructuration : Les séparations plasmiques sont absentes ou n'apparaissent que faiblement dans ces volumes de dimensions variables (mais souvent supérieures au mm), à plasma peu poreux, peu fracturé (ortho microfentes gauches). Insuffisamment nombreuses ces séparations semblent donc ne pas pouvoir s'organiser en réseau, prémice d'une microstructuration.

Les plus communs, nettement perçus sur le terrain quand leur taille est centimétrique, sont les *noyaux argileux* décrits précédemment (cf. supra et planche III, 4 et 5). Ils *s'individualisent relativement à la matrice micro-structurée vers le haut des profils* : D'abord en parfaite continuité avec la matrice des structichrons profonds (homogénéité de teinte), ils apparaissent au fur et à mesure que cette dernière se fragmente et se décolore. Restant généralement rouge sombre (10 R dans une matrice 2,5 YR), ils sont nettement distincts quand un vide périphérique les isole du fond matriciel fortement microstructuré emballant. Il s'agit donc de *reliques des structichrons originels*. Leur différenciation est *relative* : Ces volumes échapperaient aux flux d'humidité et à ses variations (alternance d'humectation et dessiccation) du fait de leur faible porosité relative ou d'une hétérogénéité de perméabilité induite dès les premiers stades de fragmentation.

En fait, la limite entre noyaux argileux et micropeds n'est pas toujours très nette. Certains de ces noyaux, à structure plasmique plus fortement insépique, de petite taille, subarrondis, s'entourent en effet d'un fin cortex de séparations plasmiques. L'apparente posté-



riorité de cette différenciation plasmique les distinguerait des micropeds.

Plus rares sont les plages de plasma, rouge plus vif que la matrice emballante ou jaunes, denses, observées dès les structichrons profonds. Leurs formes et leurs dimensions sont très fluctuantes, leur structure plasmique variée, parfois fortement orientée et biréfringente (planche V, 4 et 5). Certaines subissent une microréorganisation du bas vers le haut des profils (cf. micronodules relictuels). Mais d'autres conservent leur aspect de plasma dense dans tout le profil. Ce plasma apédal paraît hérité de conditions pédogénétiques antérieures à celles responsables de la microstructuration. Il serait donc aussi résiduel du profil d'altération (plasma contemporain des micronodules relictuels ?). Dans ce cas, la différenciation des volumes apédaux paraît plus absolue : Il pourrait s'agir d'une forte cimentation par des hydroxydes de fer et/ou d'un retard d'évolution (pédoplasmatation incomplète) sur la matrice, le stade de microstructuration ne pouvant encore être atteint.

Il est cependant fort possible que, dans l'un ou l'autre cas, ces volumes finissent par « céder » à la microstructuration ; à moins que les changements opérés dans la matrice par sa microstructuration éloignent trop les conditions de pédogenèse de celles optimales de la microstructuration. Il est possible que les noyaux argileux inclus dans un structichron aliatique proche de la surface se situent dans cette perspective.

### 2.2.3. LIAISON MACRO-MICROSTRUCTURE : UNE CONCORDANCE DES ORGANISATIONS AUX DIFFÉRENTES ÉCHELLES

On constate donc une bonne corrélation entre la séquence verticale des variations structurales enregistrées sur le terrain et la différenciation verticale de la structure plasmique : Aux phases denses à structure polyédrique correspond une structure faiblement maïsépique et une porosité de fentes faible ; aux phases microstructurées à forte porosité d'entassement et pédoturbées par la faune sont associées une structure in-lattisépique, une nette différenciation des micro-organisations tridimensionnelles et une forte porosité de microfentes interpédales ou d'origine biologique. Tous les stades de transition sont parfaitement suivis entre ces différentes phases aux échelles micrométriques comme aux échelles décimétriques.

Il semble que certaines grandes plages masépiques correspondent aux faces des macroagrégats (résultat

de contraintes uniaxiales) (1). Elles paraissent en effet les plus abondantes dans les phases denses à structure polyédrique nette. La structure insépique, qui, probablement à la suite de contraintes pluriaxiales, s'organise en réseau générateur de micropeds, serait par contre interne à ces macroagrégats. La structure argillasepique observée dans les horizons profonds et qui disparaît assez rapidement de bas en haut des profils paraît pour sa part liée à la nature minéralogique du matériau (2).

## 3. CONCLUSIONS

### 3.1. Pédogenèse actuelle des structichrons

La longue histoire des sols ferrallitiques rouges, l'intense évolution minéralogique des matériaux (jusqu'aux stades kaolinite, goéthite, hématite et gibbsite), la grande épaisseur et la relative homogénéité des matériaux ferrallitiques et meubles, peuvent faire croire à un état figé atteint à un stade de sénilité. L'observation fine nous indique en fait que ces matériaux sont, en condition de bon drainage, soumis à une pédogenèse actuelle microstructurante.

La présence à tous les niveaux de micro-organisations (notamment de micropeds de réseau) à l'état d'ébauche ou bien individualisés, l'existence de micropeds complexes, indiquent que cette fragmentation est permanente. Il y a lieu de penser alors qu'elle se poursuivra jusqu'à ce que la microstructuration en fins individus (ordre de 10-20  $\mu$  ? Beaudou, 1972c) ait affecté l'ensemble des B rouges (toutes conditions restant égales par ailleurs). Cet ultime (3) stade de différenciation est apparemment presque atteint dans certains sols « aliatiques » des vieilles surfaces.

### 3.2. La microstructuration, différenciation à polarité verticale ascendante

L'étude de l'évolution de la structure plasmique de bas en haut des profils nous renseigne donc sur la

(1) Un examen très fin, à la loupe, de nombreuses faces structurales, a permis l'observation de quelques faces striées, témoins de possibles mouvements internes, même à grande profondeur.

(2) Notons que certaines des grandes orientations rencontrées dans les structichrons profonds peuvent être lithodépendantes (fantômes kaolinitiques).

(3) Vrai uniquement au sens structural car en même temps la désilication se poursuit puis se prolonge.

formation *précoce* des micropeds : Les ébauches apparaissent dans la masse des horizons denses profonds. Ils ne sont réellement observables sur le terrain que lorsqu'ils sont détachés du fond matriciel, et, étant donné leur taille micrométrique, agglomérés (structure grenue en macro). Ce stade est atteint dans les horizons supérieurs. On constate donc un gradient vertical ascendant du nombre et du contraste des micropeds.

Mais une partie de la matrice, réfractaire à la microstructure, reste indivise. Cette phase apédale résiduelle s'individualise elle-même suivant un gradient vertical : essentiellement en noyaux argileux, reliques des structichrons originels, accessoirement en plages rouge vif dont la genèse est probablement antérieure à l'homogénéisation de ces mêmes structichrons.

### 3.3. Essai de classification typologique des microorganisations tridimensionnelles, microréseaux et phases apédales

Les habitus variés des microorganisations tridimensionnelles paraissent donc refléter plusieurs épisodes dans l'évolution des structichrons étudiés.

Incontestablement, dans les sols étudiés, ces microorganisations sont, essentiellement, des agrégats élémentaires ou *micropeds* (Brewer, 1964) (1). Issus d'une réticulation du plasma de structichrons parfaitement différenciés et homogènes, nous les nommons *micropeds de réseau* (ou *d'organisation*).

Mais au niveau de phases hétérogènes apparaissent des individus relativement plus riches en fer que la matrice emballante (si l'on en juge par leur coloration). Comme les micropeds de réseau ils sont (pour la plupart) délimités par un cortex de séparation plasmiques, et leur structure diffère de celle du plasma environnant. Il s'agit de *microglébules* (Brewer, 1964), à structure indifférenciée. Parmi ceux-ci nous distinguons :

— Des individus reliques, aux caractéristiques apparemment héritées du profil d'altération, ou en tout cas fortement influencées par des conditions de pédogenèse antérieures à celles ayant présidé à la pédoplasmatation. Il s'agit de *micronodules relictuels*.

— Des individus issus apparemment d'une ferritisation secondaire et discontinue du plasma des structichrons (accompagnée d'une décoloration par-

tielle). Suivant que cette ferritisation paraît directement liée à la microstructuration ou qu'elle semble indépendante de celle-ci, nous parlerons respectivement de *micropeds ferritisés* et de *micronodules s.s.*

Les plasmas dont la ferritisation est continue et intense forment des carapaces ou des cuirasses. Il se peut que les micronodules ou les micropeds ferritisés observés correspondent à une étape d'une évolution vers une ferritisation généralisée, celle-ci pouvant s'être arrêtée faute de conditions favorables. Nous pensons plutôt que cette phase ferritisée généralisée et compacte, apédale, exclut la présence de microorganisations tridimensionnelles (2).

Une dernière génération de microorganisations est dépendante de l'action biologique. Il s'agit de *microagrégats zoogénètes*.

Le tableau suivant résume ce premier essai de caractérisation des microorganisations tridimensionnelles, microréseaux et volumes apédaux :

Evolution structurale	Déterminisme de la « microstructuration »			
	Dès l'altération	Dans les structichrons	Après ferritisation des structichrons	Indépendante de l'évolution du plasma
Phase apédale résiduelle	Plasma apédal relictuel	Noyaux argileux	Carapace cuirasse	—
Phase microstructurée	Micro-nodules relictuels	Micropeds de réseau	— OU — Micropeds ferritisés et/ou micronodules	Micro-agrégats zoogénètes

### 3.4. Le rôle de la faune

Le haut niveau de l'activité biologique dans les phases et dans les horizons microstructurés pourrait laisser penser que la faune est un facteur déterminant de la microstructuration. L'observation microscopique met en fait en évidence le rôle secondaire de la faune dans ce phénomène. Sans mésestimer son intervention directe dans la formation des microagrégats (microagrégats biologiques), on peut affirmer que l'intense

(1) Les séparations plasmiques périphériques étant considérées comme « stress-cutanes ».

(2) Ou alors ces dernières peu représentées ou développées sont prises par « effet de masse » dans une induration continue et intense affectant un volume important de matériaux.

activité biologique (abondance des aggroutubules) dans les B aliatiques est surtout liée à un ameublissement préalable par microdivision du fond matriciel. La compacité des plasmas denses et homogènes des structichrons profonds semble au contraire un facteur de résistance à la pénétration et au travail de la faune.

#### 4. CONFRONTATION AVEC DES DONNÉES BIBLIOGRAPHIQUES

4.1. L'étude des microstructures, reconnues de longue date (Vageler, 1930), a pris son ampleur avec l'apparition de la micromorphologie (Kubierna, 1938). Des microagrégats, pseudo-particules, micropeds, micronodules... ont été décrits par de nombreux auteurs en diverses régions (Laruelle, 1956, Romaskevitch, 1965, Stoops, 1968, Rutherford, 1969, Verheyne et Stoops, 1975...). Lorsque les microstructures font l'objet d'études particulières, l'accent est généralement porté sur un aspect remarquable de leurs caractéristiques : Micromorphologique (Brewer, 1964, Eswaran, 1972), physique (Caguan et Uehara, 1965), physico-chimique (Chauvel, 1969, Blackmore, 1973), minéralogique (Chesters *et al.* 1957), expérimental (Chauvel *et al.* 1967, Smart 1975), biologique (Hole 1969, Jeanson 1971), génétique (McCormack, Wilding, 1974).. Beaudou (1975) propose une mise au point sur l'état de nos connaissances concernant ce phénomène répandu de la microagrégation.

La genèse des microstructures et leur destruction sont des aspects importants de la pédogenèse des sols rouges tropicaux. Parmi les travaux les plus récents et approfondis sur ce problème figurent ceux de Beaudou (1972) dans l'Empire Centrafricain et de Chauvel (1976) en Casamance (Sénégal).

4.2. Beaudou (1972) étudie différents types de sols dans lesquels la microstructure est variablement développée. Une correspondance est établie entre les macro et microstructures. C'est ainsi qu'à la macrostructure « aliatode » (1) des sols rouges « aliatiques » correspond une microstructure définie par la présence de « pseudo-particules arrondies ou ovoïdes ». Dans ces sols, Beaudou note la coexistence de plusieurs phases évolutives des « pseudo-particules » et un gradient vertical de leurs proportions relatives : Les ébauches de pseudo-particules sont ainsi plus fréquentes en profondeur (base des « structichrons » et au niveau des « apumites » et structichrons dys-

croches » (1). L'accent est mis sur la continuité et l'actualité de la « fragmentation ». Celle-ci produirait des éléments de plus en plus fins jusqu'à une taille de 10  $\mu$ . D'excellentes descriptions des orientations périphériques des pseudo-particules et du réseau de fissures sont fournies.

Un point de divergence semble cependant subsister entre les sols étudiés par Beaudou et ceux que nous avons observés : alors que dans les seconds les concentrations ferrugineuses sont rares, les « pseudo-particules » étudiées par Beaudou présenteraient globalement une telle différenciation. S'il y a donc une certaine similitude des organisations il semble que ces « pseudo-particules » appartiennent à la catégorie des micropeds ferritisés et/ou micronodules que nous avons distingués.

4.3. Chauvel (1976) étudie la transformation des sols rouges de Casamance en sols beiges d'un triple point de vue morphologique, analytique et expérimental. Il importe de situer notre approche des sols ferrallitiques camerounais par rapport à cette récente contribution sur l'évolution et la réorganisation de sols rouges.

4.3.1. Les premières différences portent sur le cadre général de l'étude. Les sols rouges camerounais, multimétriques, apparaissent, sur des unités de modelé convexes (« demi-oranges »), comme des amonts hypertrophiés. Ils constituent l'essentiel du vaste manteau rouge d'accumulation de fer et d'argile qui couvre le Centre-Cameroun. Les sols rouges étudiés par Chauvel sont réduits à un bourrelet périphérique en bordure de vastes plateaux essentiellement occupés par des sols beiges ou rouges de transition : Ils émergent à peine d'un modelé mou mal drainé. En conséquence, ces sols peuvent apparaître comme des reliques déjà transformées de sols rouges, ayant eu autrefois une plus large extension et une organisation légèrement différente, acquise dans un milieu fortement drainant. L'organisation des sols rouges camerounais, étendus et d'une façon générale relativement peu transformés, serait probablement ainsi de fracture plus ancienne.

Les sols de Casamance, couverts d'une maigre végétation (même forestière) et soumis à un régime climatique contrasté, subissent d'importantes varia-

(1) L'auteur utilise la terminologie typologique de Chatelin et Martin (1972).

tions pédoclimatiques annuelles (cf. « l'ultradessiccation »). Elles sont responsables, semble-t-il, de l'importante différenciation du « compartiment apical » dont témoigne un fort contraste des horizons supérieurs. Il est évident, dans ces conditions, que l'attention de l'auteur est plutôt polarisée sur le problème de ces importantes transformations superficielles réglées par ces cycles annuels, que sur les transformations profondes, beaucoup plus longues et modestes. Les sols camerounais, soumis au contraire à un régime climatique peu contracté, constamment humide, et dont les effets sont encore modérés par l'épaisse couverture forestière, ne présentent pas (d'une façon générale et en conditions naturelles) de différenciations aussi marquées des horizons supérieurs. La conséquence est que les transformations observées sont le résultat d'évolution plus longues et discrètes dont on tente de suivre les étapes sur l'ensemble du profil et notamment au niveau des horizons profonds.

Une troisième différence tient à la nature du matériau originel des sols de Casamance, détritique, profondément altéré, de nature minéralogique proche de celle du sol. Il en résulte une difficulté de saisir les étapes réelles de l'évolution pédologique, le matériau pouvant présenter lui-même des figures et organisations de type pédologique. Cette difficulté n'est pas rencontrée dans les sols camerounais sur socle, les étapes de l'altération, altéroplassation, pédoplassation et réorganisation, pouvant être suivies verticalement avec une relative facilité. C'est ainsi que les structichrons denses et profonds que nous avons décrits, premier résultat de la pédoplassation, ont pu être considérés comme matériau originel pour les processus ultérieurs d'organisation.

En définitive, les sols rouges camerounais présenteraient sur les sols de Casamance, les avantages d'une plus grande représentativité spatiale, d'une évolution moins poussée, d'une transformation très graduelle (discrète et continue) des horizons profonds vers les horizons supérieurs, à partir d'un matériau pédologiquement non différencié.

4.3.2. C'est ainsi que du point de vue des organisations (seul aspect abordé dans notre étude), nous soulignerons quelques points de divergence à notre avis fondamentaux.

Les sols camerounais observés présentaient des structichrons profonds (résiduels à oxydes de fer) quasi homogènes et entièrement rouges, dépourvus de figures d'illuviation. A partir de ce matériau nous avons pu mettre en évidence une série évolutive verticale de la structure plasmique d'un matériau dense faiblement

insépique vers un matériau fortement microstructuré. Les horizons B des sols rouges décrits par Chauvel présentent au contraire un plasma dense rouge vif entièrement et fortement microstructuré dès la profondeur, associé à un plasma jaune rougeâtre considéré comme fond matriciel et un plasma d'illuviation.

Dès leur présentation, les « globules » (microstructure) de plasma dense sont interprétés par Chauvel comme concentrations authigènes à partir du fond matriciel rouge jaune. Comme traits pédologiques, ils correspondent bien alors à la définition des glaebules de Brewer (1964) et peuvent être considérés comme *micronodules*, pôles de ferritisation. Dans les sols que nous avons observés, on note essentiellement en profondeur, une simple fragmentation du plasma qui reste, à quelques zones hétérogènes près, homogènement coloré en rouge sombre : La microstructure résultante nous a donc paru, (pour l'essentiel) être issue d'une simple réorganisation du fond matriciel. En l'absence d'indices de concentration ferrugineuse, les individus plasmiques sont alors considérés comme éléments structuraux, des micropeds (Brewer 1964) définis par un réseau de séparation et de vides (micropeds de réseau). Il nous a paru que cette interprétation était concordante avec les observations de terrain : Fragmentation centrifuge de volumes denses macrostructurés, en éléments de plus en plus fins jusqu'aux tailles micrométriques.

Outre les micropeds zoogénètes, reconnus aussi par Chauvel, nous avons tenté un premier essai de classification des micro-organisations tridimensionnelles rencontrées. Nous avons en particulier distingué des micropeds ferritisés et des micronodules issus d'une ferritisation localisée des structichrons. Génétiquement ces individus pourraient s'apparenter aux micronodules décrits par Chauvel. Mais ils ne constituent, apparemment, qu'une exception dans les sols rouges des modelés à profil convexe.

A notre avis, la dynamique des sols rouges de l'amont des séquences étudiées par Chauvel est déjà influencée par le relatif confinement hydrique des avals (faible dénivelée, faible proportion relative de sols rouges par rapport aux sols beiges). D'où ces figures de redistribution, discrètes sous forme de concentrations plasmiques avec décoloration corrélative du « fond matriciel », ou plus nettes sous forme de ferri-argilanes.

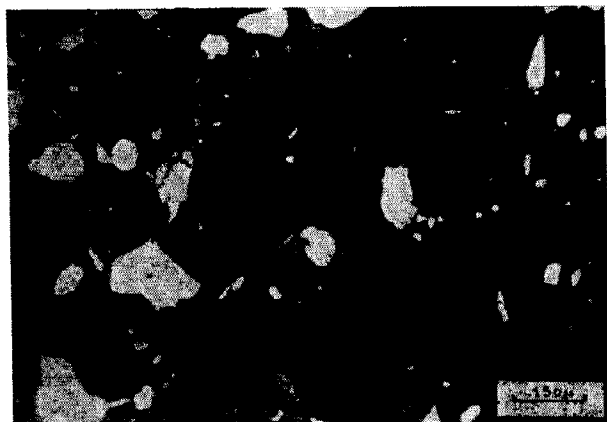
#### REMERCIEMENTS

L'auteur est particulièrement reconnaissant à MM. M. Gavaud et Y. Chatelin d'avoir bien voulu lire ce texte et lui faire part de leurs observations.

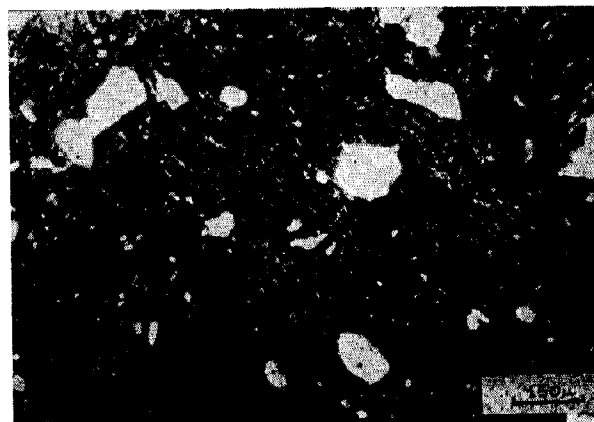
*Manuscrit reçu au Service des Publications le 19 septembre 1977*

## BIBLIOGRAPHIE

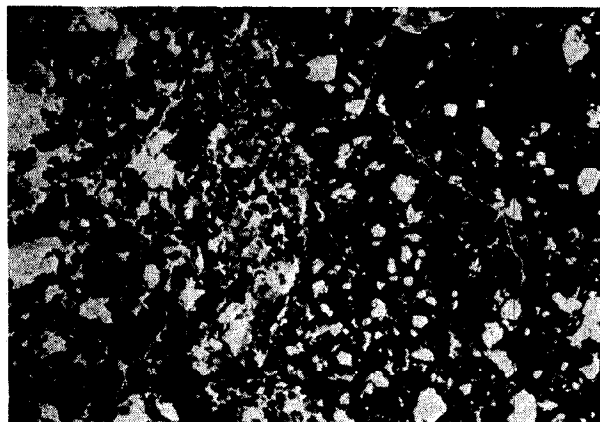
- BEAUDOU (A.G.), 1972a. — Expression micromorphologique de la microagrégation et de l'illuviation dans certains horizons de sols ferrallitiques centrafricains et dans les sols hydromorphes associés. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. X, n° 4 : 357-372.
- BEAUDOU (A.G.), 1972b. — Micromorphologie de quelques sols ferrallitiques rouges à lepto et brachy-apexols sur gravelite. ORSTOM Bangui, 19 p. *multigr.*
- BEAUDOU (A.G.), 1972c. — Structure micromorphologique des sols aliatiques centrafricains. ORSTOM Bangui, 14 p. *multigr.*, 7 planches.
- BEAUDOU (A.G.), 1975. — La microagrégation dans les sols ferrallitiques (à paraître).
- BLACKMORE (A.V.), 1973. — Aggregation of clay by the product of iron (III) hydrolysis. *Aust. J. Soil Res.*, II : 75-82.
- BREWER (R.), 1964. — Classification of plasmic fabric of soil materials, Soil Micromorphology Proc. 2nd Int. Working. Soil Micromorph. Arnhem, The Netherlands, Jongerius editor.
- BREWER (R.), 1964. — Fabric and mineral analysis of Soils. J. Wiley and Sons. New York, London, Sydney, 470 pages.
- CAGUAN (B.G.), UEHARA (G.), 1965. — Soil anisotropy and its relation to aggregate stability. *Soil Sci. Amer. Proc.*, 29 : 198-200.
- CHATELIN (Y.), MARTIN (D.), 1972. — Recherche d'une terminologie typologique applicable aux sols ferrallitiques. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, X, I : 25-44.
- CHAUVEL (A.), 1972. — Contribution des études granulométriques et microscopiques à l'étude des matériaux pédologiques. *Bull. Liaison Thème A, ORSTOM multigr.* : 43-64.
- CHAUVEL (A.), 1976. — Recherches sur la transformation des sols ferrallitiques dans la zone tropicale à saisons contrastées. Evolution et réorganisation des sols rouges en Moyenne Casamance. Thèse Sci. Strasbourg CNRS, A.O. 12 803, 495 pages.
- CHAUVEL (A.), 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, sér. D, t. 264 : 1969-1972.
- CHAUVEL (A.), 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, T. 264 : 2089-2092.
- CHESTERS (G.), ATTOE (O.J.), ALLEN (O.N.), 1957. — Soil aggregation in relation to various soil constituents. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 21 : 272-277.
- EDWARDS (A.P.), BREMNER (J.M.), 1967. — Microaggregates in Soils. *J. Soil Sci.*, 10 : 235-244.
- ESWARAN (H.), 1972. — Micromorphological indicators of pedogenesis in some tropical soils derived from basalt from Nicaragua. *Geoderma*, 7 : 15-31.
- FAUCK (R.), 1971. — Contribution à l'étude des sols des régions tropicales : Les sols rouges sur sables et sur grès d'Afrique Occidentale. *Mém. ORSTOM*, 61, Paris, XII, 259 pages.
- FAUCK (R.), 1974. — Les facteurs et les mécanismes de la pédogenèse dans les sols rouges et jaunes ferrallitiques sur sables et grès en Afrique. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. XII, n° 1 : 69-73.
- FLACH (W.), CADY (J.G.), NETTLETON (W.D.), 1968. — Pedogenetic alteration of highly weathered parent materials. *Trans. 9th Intern. Congr. Soil Sci.*, vol. IV : 343-351.
- HOLE (F.D.), 1961. — A classification of pedoturbation and some others processes and factors of soil formation in relation to isotropism and anisotropism. *Soil Sci.*, 91 : 375-377.
- JEANSON (C.), 1971. — Nouvelles données microscopiques sur la contribution de la faune à l'élaboration de la structure du sol. *C.R. Acad. Sci.*, Paris, t. 272, pp. 422-424.
- KUBIENA (W.L.), 1938. — Micropedology. Collegiate Press. Inc. Amer. Ioawa, 242 pages.
- LARUELLE (J.), 1956. — Quelques aspects de la microstructure des sols du Nord-Est du Congo-Belge. *Pédologie*, VI, pp. 38-57.
- MARTIN (D.), 1967. — Géomorphologie et sols ferrallitiques dans le Centre-Cameroun. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. IV, n° 2 : 189-218.
- MARTIN (D.), 1970. — Quelques aspects des zones de passage entre surfaces d'aplanissement du Centre-Cameroun. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. VIII, n° 2 : 219-239.
- MCCORMACK (D.E.), WILDING (L.P.), 1974. — Proposed origin of lattisepic fabric. Proc. 4th Inter. Working Meeting. Soil Micromorph. Kingston, Ontario 1973, Limestone Press. 1974, Rutherford editor.
- MULLER (J.P.), 1974a. — Introduction à l'étude de trois toposéquences situées entre Goyoum et Deng-Deng (Cameroun). Première mise au point morphologique. ORSTOM-Yaoundé, 18 p. *multigr.*
- MULLER (J.P.), HUMBEL (F.X.), 1975. — Etude d'une toposéquence de sols ferrallitiques rouges près de Goyoum (Centre-Cameroun). Organisation macromorphologique, caractéristiques physiques et hydriques. ORSTOM-Yaoundé, 120 p. *multigr.*
- ROMASHKEVICH (A.I.), 1965. — Micromorphological features of processes leading to the formation of red earth and weathering crust of the Black Sea coast of Caucasus. *Soviet Soil Sci.*, 4 : 407-415.
- RUTHERFORD (G.K.), 1969. — Initial study of the genesis of a laterite from Guyana using micromorphology and the electron microprobe. IIIrd Inter. Working Meeting Soil Micromorphology. Wroclaw.
- SMART (P.), 1975. — Soil microstructure. *Soil Sci.*, USA, 119, 5 : 385-393.
- STOOPS (G.), 1968. — Micromorphology of some characteristic soils of lower Congo (Kinshasa). *Pédologie (Ghent)*, 18, 1 : 110-149.
- VERHEYE (W.), STOOPS (G.), 1975. — Nature and evolution of soils developed on the granit complex in the subhumid tropics (Ivory Coast). II Micromorphology and mineralogy. *Pédologie (Ghent)*, XXV, 1 : 40-55.



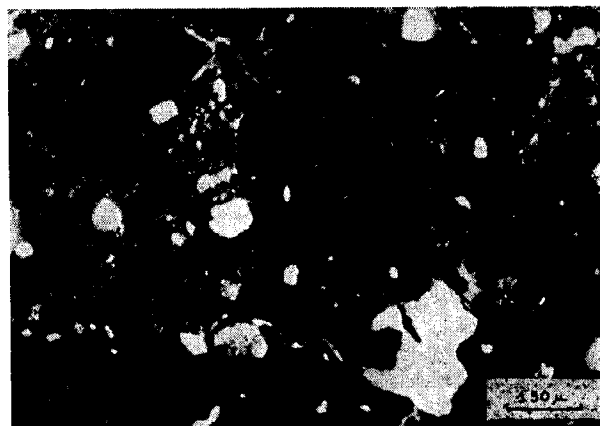
1. — (LPA). Structichron dense profond : plasma faiblement orienté, à structure faiblement insépique. Microvides isolés.



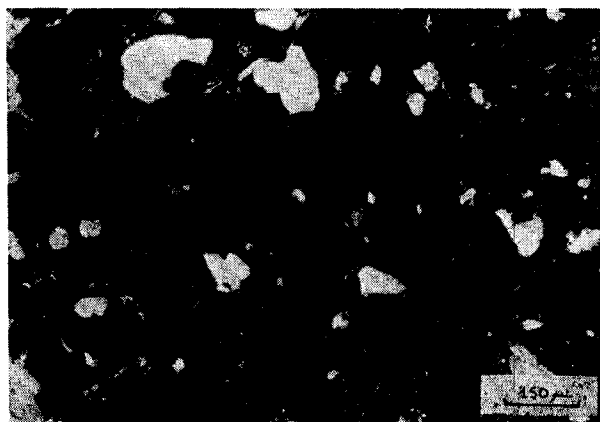
4. — (LPA). Quelques domaines allongés (structure masépique), épars dans la matrice, ne sont pas affectés par la microstructuration.



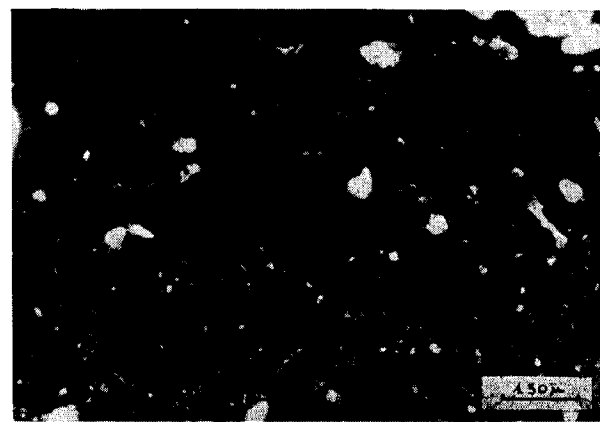
2. — A gauche aggotubule incluant des microagrégats zoenogénètes plus ou moins décolorés (notamment à leur périphérie) et à forte porosité interpédale. A droite plasma dense, rouge sombre, parcouru de microfentes anastomosées.



5. — (LPA). Répartition irrégulière des séparations plasmiques : certains domaines sont fortement orientés, d'autres restent très faiblement insépiques.



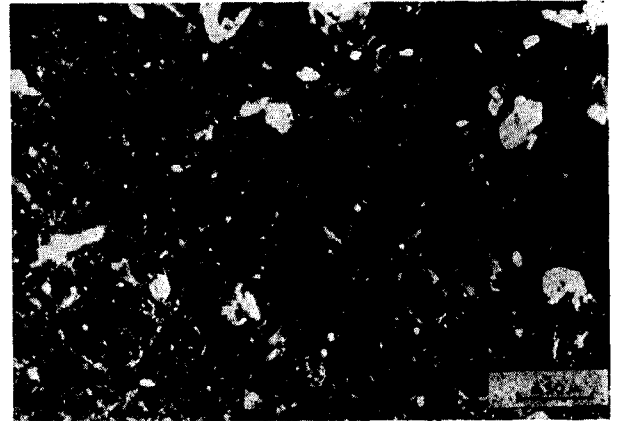
3. — (LPA). Développement d'une structure insépique : séparations concentrées en petits flots de 10-20  $\mu$ .



6. — (LPA). Ebauches de micropeds dans un plasma insépique : progressivement certaines séparations plasmiques s'organisent en réseau délimitant des zones de plasma sphéroïdales, à structure interne quasi isotique.



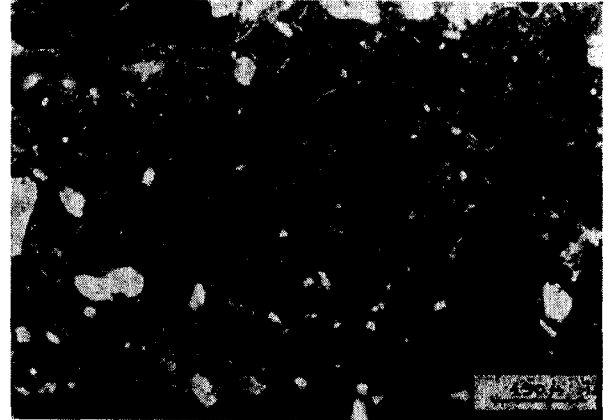
1. —



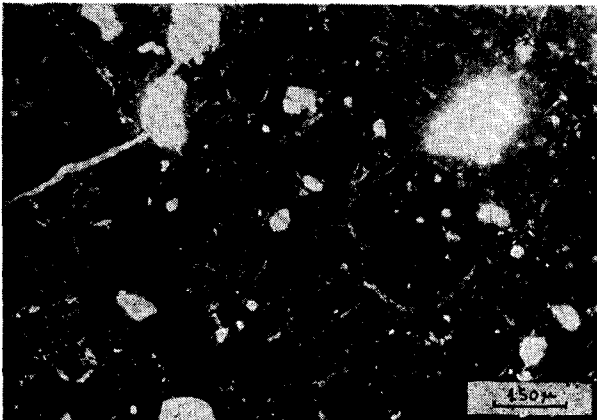
4. — (LPA). Structure finement in-lattisépique : généralisation et renforcement du réseau de séparations plasmiques.



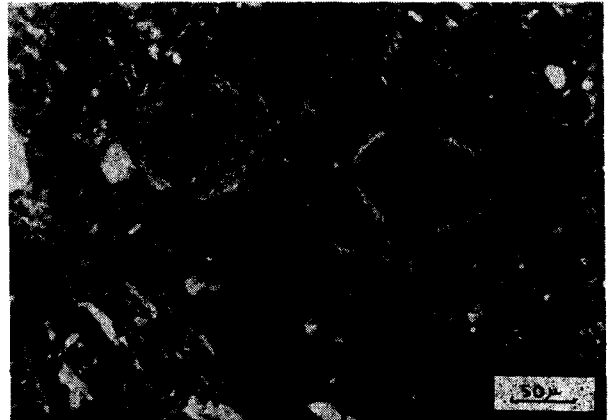
1, 2. — Ebauches de deux micropeds de réseau, dans un structichron dense profond, consécutives à une réorganisation plasmique (1 en LPA, 2 en LPNA). Leur structure est presque isotopique. Le plasma externe a une structure faiblement insépique. Les séparations plasmiques périphériques sont peu nettes. Ces micropeds ne sont décelés qu'en lumière polarisée.



5. — (LPA). Accentuation de la structure lattisépique en bordure d'un vide (en haut à gauche) : micropeds contigus et contrastés, séparations plasmiques fortement biréfringentes, quelques petites fentes périphériques ; en bas et à droite plasma non microstructuré, plus sombre.



3. — (LPA). Micropeds bien individualisés à structure interne quasi isotopique.



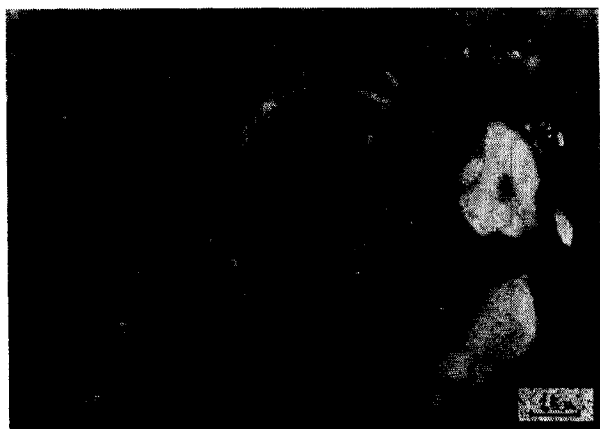
6. — (LPA). Renforcement du réseau de séparations plasmiques. Ebauches de microfentes, à partir de cavités mammelonnées, qui tendent à contourner les micropeds.



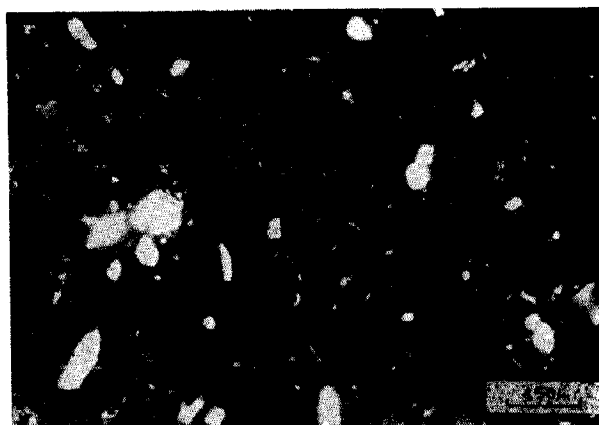
1. — (LPA). Micropeds contrastés. Microfentes interpédales évoluant en vides d'entassement.



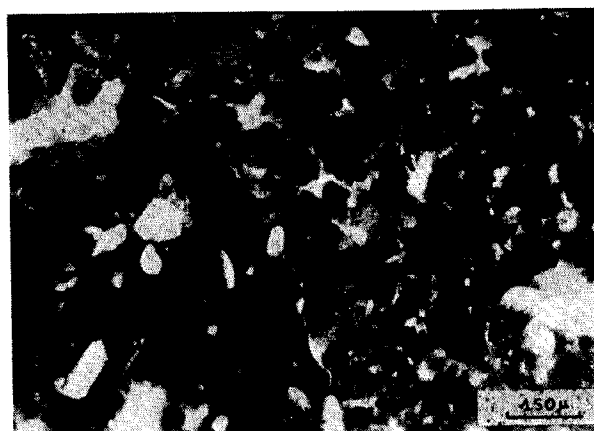
2. —



2, 3. — Elargissement du réseau de microfentes (vides d'entassement) et séparations des micropeds du fond matriciel (2 en LPNA, 3 en LPA).



4. —



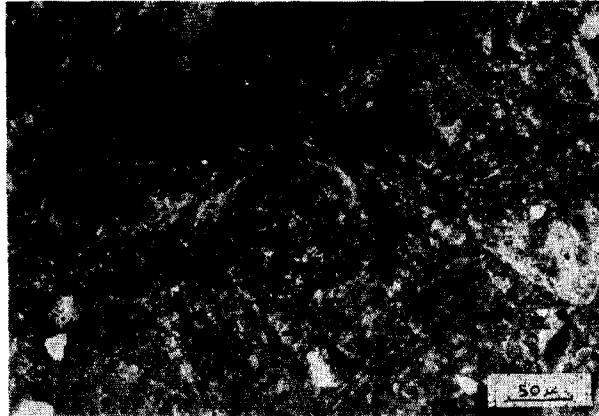
4, 5. — Des volumes de plasma apédal et isotiques, peu fracturés, s'individualisent en « noyaux argileux » (à gauche), plus rouges que la phase microstructurée (à droite) (4 en LPA). La décoloration de cette dernière affecte préférentiellement le plasma intermicropédal (frange claire autour des micropeds, 5 en LPNA). Une fissure fine sépare le noyau argileux de la phase microstructurée. Noter l'absence de séparations plasmiques en bordure du noyau argileux.



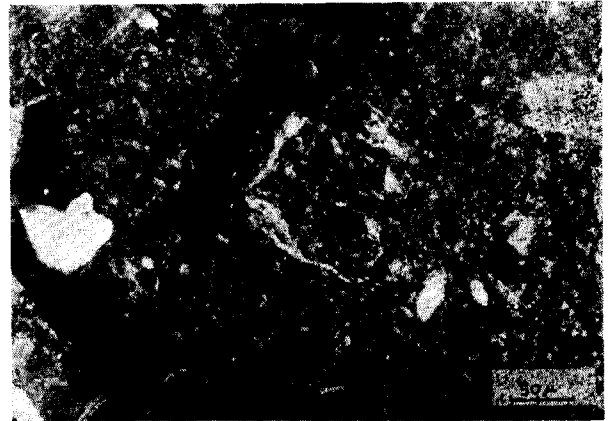
6. — (LPA). Cas rare de structure squelépique.



PLANCHE IV



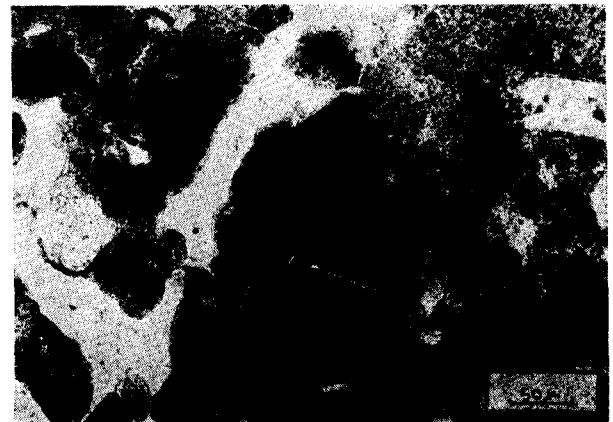
1. —



4. —



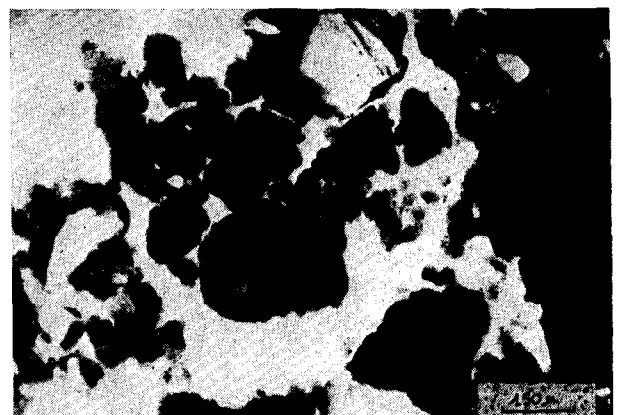
1, 2. — Microped ferritisé (ou micronodule ?) à structure interne insépique (1 en LPA), fortement contrasté (rouge sombre, 2 en LPNA), arrondi. Un réseau de microfentes se développant à partir d'une cavité mammelonnée tend à la détacher du fond matriciel.



4, 5. — Micronodule relictuel très contrasté, polyédrique, à structure interne plus développée que celle du plasma emballant (structure insépique d'un structichron profond. 4 en LPA, 5 en LPNA).



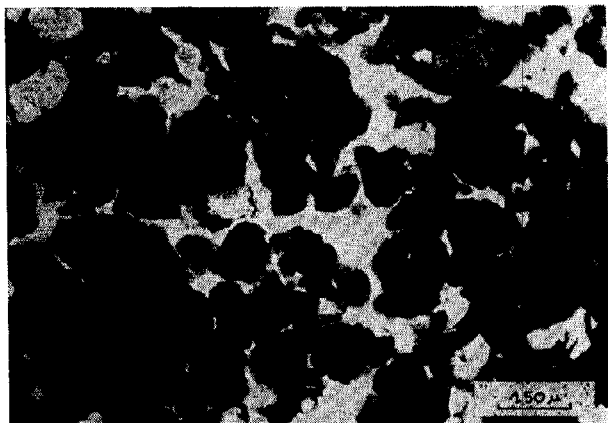
3. — (LPA). Micronodule relictuel : apparition en profondeur d'amas rouge vif au sein d'une matrice moins vivement colorée avec différenciation d'un cortex de séparations plasmiques.



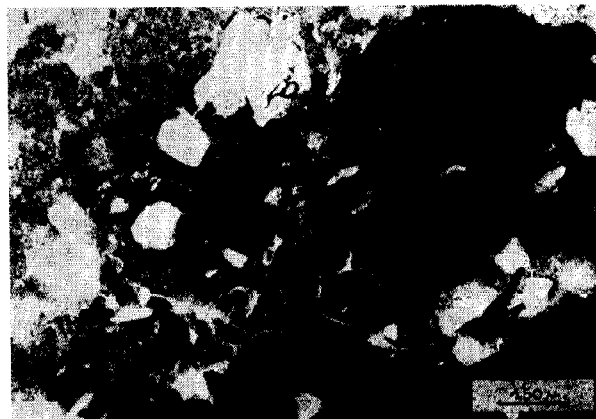
6. — (LPNA). Micropeds zoogénètes dans un aggotubule.



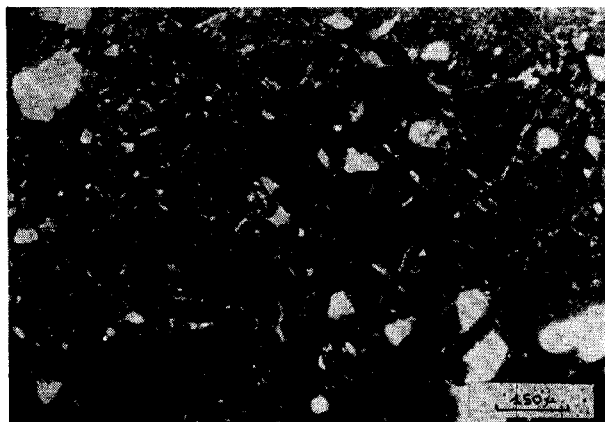
1. — (LPA). Micro-organisation complexe : Un gros microped de réseau, en voie de séparation du fond matriciel (réseau de microfentes à partir d'une cavité), inclut en son sein un microped de plus petite taille (disposition concentrique des séparations plasmiques).



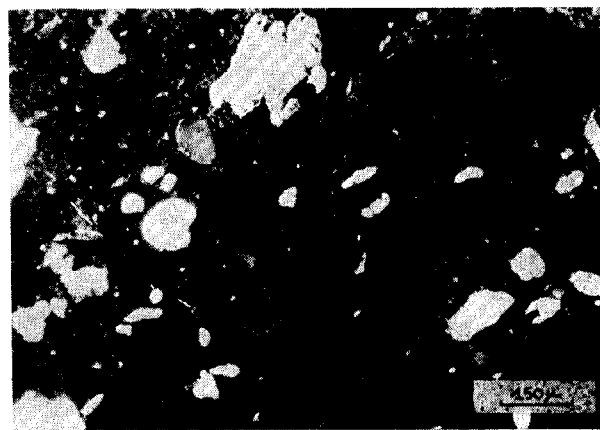
2. —



4. —



2, 3. — Microagrégats zoogénètes englobant des micropeds de réseau (hérités). Les microagrégats hôtes sont de taille supérieures à celles des micropeds hérités inclus, dont la différenciation est antérieure à la pédoturbation faunique, (2 en LPNA, 3 en LPA).



4, 5. — Eléments apédaux : Plage relicuelle de plasma rouge vif (à droite) au sein d'un plasma en voie de décoloration (à gauche : 4 en LPNA), à faible profondeur (150 cm). Cette plage a conservé son aspect de plasma dense apédal : à structure interne très faiblement insépique (5 en LPA), elle ne se distingue au microscope que par sa couleur.