

Notes sur la micromorphologie de certains sols ferrallitiques jaunes de régions équatoriales d'Afrique

Alain BEAUDOU*, Yvon CHATELIN*
Jean COLLINET*, Dominique MARTIN**
Georges-Henri SALA***

Pédologues ORSTOM

* Centre ORSTOM, BP V 51, Abidjan, Côte d'Ivoire

** Centre ORSTOM, BP 181, Brazzaville, Congo

*** Centre ORSTOM, BP 3115, Libreville, Gabon

RÉSUMÉ

Les régions équatoriales et sub-équatoriales sont généralement couvertes par des sols ferrallitiques jaunes assez fortement désaturés. Plusieurs profils représentatifs du Gabon et du Congo ont été retenus. Ils correspondent à des conditions de roche-mère, de végétation et d'ancienneté différentes. L'examen micromorphologique de ces sols fait ressortir la généralité de certains caractères. Les orientations plasmiques sont toujours assez abondantes, elles sont dues aux processus de gonflement et de retrait. La mobilité de l'argile paraît accentuée dans les sols présentant des liserés argileux et des argillanes bien formés. La microagrégation est plus ou moins développée, elle est de type fragmentaire. Ces caractères sont comparés à ceux des sols ferrallitiques rouges qui sont dominants sous des climats moins humides. Les organisations microscopiques peuvent être décrites suivant deux orthotypes entre lesquels existent de nombreux cas intermédiaires.

INTRODUCTION

Les caractères micromorphologiques majeurs de certains grands ensembles pédologiques ne sont pas,

ABSTRACT

Equatorial and sub-equatorial countries are generally covered with yellow strongly unsaturated ferrallitic soils. Several representative profiles of Gabon and Congo have been selected. They agree with different parent-rock, vegetation, and age conditions. The micromorphological investigation of these soils shows the generality of some characters. There is always a sufficient number of plasmic orientations. Swelling and shrinking process are responsible of these orientations. Clay mobility seems increased in soils with clayed edges and argillans. Fragmentary pattern microaggregation is more or less developed. These characters are compared with those of red ferrallitic soils which are dominant in less humid countries. Microscopical organization can be described according to two orthotypes between which exist many intermediate patterns.

à l'heure actuelle encore, toujours bien connus. Il semble que cela soit le cas pour les sols ferrallitiques à couleur dominante jaune qui couvrent une grande partie des régions équatoriales africaines. Pourtant, la microscopie optique ne rencontre plus de difficultés

techniques sérieuses avec les résines employées pour durcir les matériaux meubles. Quant aux faits scientifiques eux-mêmes, ils relèvent d'une observation visuelle directe. Ils devraient être plus facilement collectés que les faits appréhendés par des déterminations physiques ou chimiques complexes. Pourquoi, dans ces conditions, la micromorphologie des sols ferrallitiques équatoriaux reste-t-elle à inventorier ? Il existe à cela plusieurs raisons.

Il faut tout d'abord rappeler que l'emploi de langages descriptifs normalisés est relativement récent (Brewer 1964, Stoops et Jongerius 1975). Les auteurs plus anciens, comme Kubiena (1970) (*) ou Laruelle (1956) ont laissé des documents difficilement exploitables. Avant d'être repris et complétés par Brewer, les premiers termes descriptifs créés par Kubiena ont été abandonnés par leur auteur lui-même, parce qu'il craignait d'aboutir à un vocabulaire trop compliqué et ésotérique. Les études micromorphologiques ont alors associé des descriptions assez vagues à des interprétations génétiques basées sur des concepts dont beaucoup sont maintenant devenus caduques. Les notions de peptisation et de peptisation, de plasmas fluides ou coagulés, masquent, pour nous, la description des faits réels. Par exemple, ce que nous identifions maintenant comme un cutane pouvait être décrit comme la réactivation (ou la re-peptisation) du plasma dans un « conducting channel ». En réalité, Kubiena et Laruelle, pour ne citer que ces deux auteurs, ont incontestablement observé dans les sols ferrallitiques des caractères micromorphologiques importants. Malheureusement, c'est souvent a posteriori que leur travaux sont compris, après que l'on ait cru découvrir des faits qu'eux-mêmes connaissaient. Les pages suivantes le montreront.

Une autre difficulté pour la compréhension d'études anciennes, ou d'études réalisées par des auteurs appartenant à diverses écoles, porte sur les diagnostics utilisés. Le caractère ferrallitique des sols n'est pas toujours reconnaissable avec certitude. Il est normal que les travaux qui ont retenu le plus notre attention soient ceux qui n'ont pas ces ambiguïtés, parce qu'ils sont l'œuvre de pédologues français, ou de pédologues employant les mêmes méthodes. Il apparaît alors que les sols les mieux connus quant à leur micromorphologie sont des sols ferrallitiques rouges, sols de savanes ou de régions forestières de transition, mais toujours soumis à des climats à saisons contrastées. Ces sols sont caractérisés (Beaudou 1972, Beaudou et Chate-

lin 1974) par l'importance de la microagrégation et la rareté des cutanes d'illuviation dans leurs horizons minéraux meubles. Les horizons de surface sont affectés par une nouvelle évolution (Chauvel 1976, Muller 1977). Elle consiste en une microstructurolyse, suivant l'expression de Muller, qui détruit les microagrégats au profit de plasmas plus continus. A ces quelques rappels, ajoutons la mention des études de Boulet (1974), Verheyne et Stoops (1975), Jamet (1975), Pedro *et al.* (1976), Pidgeon (1976) qui concernent également certains sols ferrallitiques rouges.

La couleur des sols ferrallitiques obéit à une loi grossièrement zonale (Segalen 1969). En dehors de certains cas lithodépendants ou conditionnés par les pédoclimats particuliers des bas de pente, les sols rouges sont dominants sous les climats tropicaux à saisons contrastées, les sols jaunes sous les climats équatoriaux. Dans les divers systèmes de classification des sols, la couleur a été tantôt considérée comme caractère important et tantôt reléguée dans les unités taxonomiques inférieures. Segalen (*op. cit.*) a montré que la couleur rouge peut être due à l'hématite, mais souvent aussi à des produits ferrugineux amorphes se formant en milieu imparfaitement désionisé (présence de cations basiques, ou d'anions siliciques). La couleur jaune correspond au contraire à des produits ferrugineux bien cristallisés (goethite) issus de milieux très désionisés.

La micromorphologie des sols rouges étant maintenant assez bien connue, nous essaierons de donner un premier aperçu de celle de quelques sols jaunes particulièrement représentatifs. Les appumites, horizons humifères de la partie supérieure des sols, sont trop variables (Muller 1974) pour que nous essayons de les caractériser avec quelques profils seulement. Les déterminations porteront donc essentiellement sur les structichrons (horizons meubles minéraux), à l'exclusion des matériaux indurés ou tachetés et des horizons d'altération. Nous essaierons de décrire plutôt que d'interpréter et de donner à nos observations un support photographique suffisant.

1. UN EXEMPLE DE SOL FERRALLITIQUE DE FORÊT

1.1. Situation et caractères généraux

C'est au Gabon, à proximité immédiate de l'équateur (00°13'00" N, 11°56'25" E), que se trouve le premier profil que nous étudierons. Il a été observé et prélevé par

* Dans cet ouvrage publié en 1970, l'auteur a résumé des recherches entreprises une quarantaine d'années auparavant.

Collinet et Forget (1976). La forêt dense couvre la région. Elle a parfois un caractère secondaire, lié à d'anciens défrichements, notamment aux environs immédiats du profil lui-même. Le relief est défini comme étant une « surface ancienne » dénommée ici « *pénéplaine du Nord-Gabon* » mais dont on trouve l'équivalent en d'autres endroits du Gabon et dans des pays limitrophes. En réalité, cette surface ou *pénéplaine* est un ensemble complexe associant de larges « plateaux » plan-convexes ayant de 2 à 3 km d'extension latérale, et des bas-fonds marécageux remarquablement plats de plusieurs centaines de mètres de large. L'altitude est de 460 mètres sur le plateau où se trouve le profil, les dénivelées moyennes avec les bas-fonds étant de 40 à 50 m. En ce qui concerne la répartition des volumes pédologiques, cet ensemble se présente (Beaudou et Collinet, 1977) comme un *paysage à deux pédons dominants*, l'un occupant les bas-fonds et l'autre les interfluves. Cela signifie en d'autres termes que la couverture de sols ferrallitiques est très monotone, ce qui est un caractère général des régions équatoriales forestières.

Le pédon étudié a pour roche-mère un *granite* à pyroxène. Il a été considéré par Collinet et Forget (*op. cit.*) comme sol *ferrallitique typique*. En termes de typologie (Chatelin et Martin 1972) (*), il se présente comme un orthoapexol à structichron profond. L'*appumite* est peu ou non appauvri. Sa matière organique est caractéristique des sols forestiers. Sa teneur est élevée dans les premiers centimètres. L'imprégnation humifère s'étend ensuite assez profondément, mais avec des pourcentages réduits et une coloration peu marquée. Le *structichron* a une teneur en argile qui oscille de 60 à 70 %, très peu de limon, sa couleur est jaune ou jaune-ocre (8,75 YR 5,5/8). Sa structure d'ensemble est de type pauciclude, mais avec des microphases aliatodes et amérodés. Dans le profil étudié, le *structichron* atteint au moins (limite de l'observation) 3 mètres de profondeur.

Quelques données de laboratoire seront enfin rapidement rappelées. La fraction minérale est largement dominée par la *kaolinite*, seule phyllite détectée sur les diagrammes X. Légèrement inférieurs à 2, les rapports *silice/alumine* laissent supposer de petites quantités d'alumine libre (sauf dosage par excès de la silice). Le *fer* représente environ 7 % du *structichron*, les trois quarts au moins de ce pourcentage étant sous forme libre. Malgré une assez faible capacité d'échange, la

désaturation du sol est très poussée, l'acidité étant plus grande en surface qu'en profondeur. Ce dernier caractère est en rapport avec la nature des composés organiques parmi lesquels les *acides fulviques* sont particulièrement abondants.

1.2. Description micromorphologique

Le sol sera étudié de bas en haut, en partant du structichron profond, jusqu'au structichron dyscrophe puis à l'appumite. Nous ne ferons pas la description exhaustive de tout ce qui peut être observé au microscope et nous éviterons de répéter les caractères conservés d'un horizon à l'autre, pour insister plutôt sur les transformations qui se succèdent.

La texture très argileuse sur l'ensemble du profil se traduit, dans l'examen microscopique, par l'*abondance du plasma*. En lumière naturelle, celui-ci apparaît en *jaune vif*, et il est remarquablement *homogène* quant à sa couleur et sa densité optique. Le *squelette* est essentiellement quartzueux, avec de rares nodules ferrugineux de la taille des sables. L'assemblage plasma-squelette est toujours *porphyrosquelique* (clichés 1 et 4).

À la base du profil, les *plages non divisées* (structure amérode) sont largement étendues. Elles sont parcourues (cliché 1) de fissures rectilignes étroites, associées en réseau et se terminant souvent au contact des grains du squelette. Il s'agit vraisemblablement d'artéfacts dus à l'imprégnation des échantillons qui ont certainement pour effet d'accentuer l'importance de fissures déjà existantes... Mais il faut remarquer que cela ne se produit que dans les plages amérodés étendues (cliché 1) et non dans celles prises dans une structure d'ensemble plus aérée (cliché 2). Dès le structichron profond, apparaissent des *fissures et cavités à contours sinueux*. En se ramifiant, ces fissures isolent progressivement des *figures bourgeonnantes* (cliché 2) et, à un stade plus avancé, des *microagrégats* (cliché 3). Ceux-ci ont des formes et des tailles assez irrégulières, de type général micropolyédrique subanguleux ou arrondi. Fissures et micro-agrégats se multiplient dans le structichron dyscrophe et dans l'appumite. Ces faits apparus à l'échelle microscopique laissent supposer une structure d'ensemble pauciclude à phase aliatode parorthique.

Une caractéristique majeure du sol étudié est de présenter des *orientations plasmiques très abondantes*. Totalement indiscernables en lumière naturelle, elles n'apparaissent qu'en lumière polarisée et analysée. Ces orientations donnent au plasma un caractère *insépique* ou plus souvent encore *mosépique*. En d'au-

(*) La terminologie typologique continuera à être utilisée dans la suite de cet article, mais sa référence bibliographique ne sera pas répétée.

tres termes, cela signifie qu'elles se présentent en très petites ponctuations ou qu'elles sont orientées de façon quelconque si elles sont plus grandes et de forme allongée. Les types in et mosépiques sont définis par la densité des éclaircissements. Le cliché 5 montre une plage mosépique dans laquelle les éclaircissements (compte non tenu des quartz) sont très nombreux. Un moins fort grossissement fait apparaître, dans le cliché 4, une juxtaposition de plages mosépiques et de plages moins éclaircies correspondant au type insépique. Il faut noter en outre que le plasma présente, en dehors des séparations plasmiques qui viennent d'être décrites, une certaine *biréfringence diffuse*. Il apparaît assez lumineux en LPA, contrairement aux plasmas d'autres sols qui restent vraiment obscurs dans les mêmes conditions. Ajoutons enfin que la biréfringence diffuse comme celle due aux orientations plasmiques est *moins accentuée dans les horizons supérieurs* (structichron dyscrophe et appumite) que dans les horizons profonds.

Toujours sans que cela corresponde à des figures visibles en lumière naturelle, apparaissent en certains endroits des arrangements plasmiques organisés. Il s'agit souvent d'un arrangement *masépique* (cliché 6), c'est-à-dire correspondant à de longues orientations rectilignes parallèles. Plus rarement, l'arrangement est de type *in-lattisépique* (cliché 7) et dessine un réseau orthogonal imparfait. Enfin, il existe aussi des *orientations ovoïdes* (cliché 8) qui ont été souvent décrites (Beaudou 1972, Muller 1977) comme étant à l'origine de certains microagrégats. Ces différents types d'arrangements organisés restent, dans l'ensemble du sol, relativement *peu fréquents*.

1.3. Conclusion

Certains caractères peuvent être considérés comme très significatifs. Leur *présence* sera soulignée une fois encore. Mais il est tout aussi important de remarquer l'*absence* d'autres caractères que nous verrons apparaître ailleurs, en d'autres conditions. Nous résumerons donc ainsi les observations faites sur ce sol ferrallitique jaune de la péninsule du Nord-Gabon :

— La *division* des plasmas, la *fissuration* sont faibles dans le structichron profond, mais s'accroissent considérablement dans les horizons de surface.

— En relation avec cette fissuration apparaissent des *microagrégats*, sans que ceux-ci constituent une phase majeure.

— Les *orientations plasmiques* (insépiques, mosépiques) sont extrêmement abondantes. Elles consti-

tuent peu de formes organisées (arrangements ovoïdes, masépiques, lattisépiques).

— Aucun *cutane* n'est apparu dans le sol. Les *liserés orientés* sur les grains du squelette (squelsépiques) ou sur les parois des vides (vosépiques) ont peu d'importance.

2. UN EXEMPLE DE SOL FERRALLITIQUE DE SAVANE

2.1. Situation et caractères généraux

Le deuxième profil étudié provient de la zone des savanes du Niari au Congo, savanes qui commencent rapidement au sud de l'équateur (3°52'25" S, 12°43'00" E). Le sol est situé dans la « vallée du Niari », étudiée en particulier par Brugière (1954), par Denis et Rieffel (1975). Il a été observé et prélevé par Martin et Bosseno (1977). Ce nom de vallée est donné à une dépression allongée, drainée par le cours moyen du fleuve Niari, encadrée par des reliefs plus élevés et fermée notamment à l'aval par la chaîne du Mayombe. En réalité cette vallée est constituée par de larges plateaux ou plaines à réseau hydrographique peu dense. La vallée du Niari correspond à une surface d'aplanissement relativement récente, limitée par des reliefs plus jeunes et d'autres surfaces plus élevées. Le profil étudié est localisé au sommet d'une faible ondulation d'une plaine à relief irrégulier de 150-200 m d'altitude. La végétation est une savane à peuplement dense d'*Hypparhenia diplandra*.

La roche-mère est constituée par les résidus d'altération de calcaires, marnes et argilites appartenant à la série du schisto-calcaire. Le profil est défini comme *sol ferrallitique typique*, jaune, induré (Martin, Bosseno 1975). C'est un orthoapexol à structichron profond puis à gravolite et/ou pérostérite. L'*appumite* est bien développé, avec une matière organique abondante et régulièrement répartie. Sa texture est argileuse. L'absence d'un gradient textural net doit être soulignée, en raison des caractères micromorphologiques qui apparaîtront plus loin. Au-delà de sa partie supérieure dyscrophe imprégnée, en taches et trainées, par la matière organique, le structichron a une couleur jaune homogène (7,5 YR 5/8). Sa texture est argileuse (60 % d'argile granulométrique), avec des quantités notables de limons grossiers et de sables fins, mais très peu de sables grossiers. La structure dès la profondeur est assez fine, à phases pauciclude et aliatode parorthique.

Les caractères géochimiques sont assez proches de ceux du sol forestier de la pénéplaine du Nord-Gabon précédemment étudié. L'argile dominante est toujours la kaolinite, et le rapport *silice/alumine* reste toujours proche de 2. Ces caractères avaient d'ailleurs fait considérer autrefois ces sols comme « faiblement latéritiques » (Brugière 1954). Le fer total de la phase structichrome est généralement compris entre 8 et 10 %, la forme dite « libre » représentant environ le tiers seulement de cette fraction. Le taux de saturation est faible ou moyen. Contrairement à ce qui s'observe dans les sols forestiers équatoriaux, la saturation est plus forte en surface qu'en profondeur. A ceci correspond une *matière organique* bien évoluée.

2.2. Description micromorphologique

Nous étudierons ce profil de savane comme le précédent, de bas en haut, en accordant plus d'attention au structichron qu'à l'appumite et en ne mentionnant que ce qui peut servir à une caractérisation générale des sols.

En lumière naturelle, le *plasma* présente, comme celui du profil précédent, une couleur *jaune vif* très homogène. Il existe aussi des plages continues (amérodes) assez étendues. Mais ce qui frappe ici, dès la base du structichron à plus de 5 mètres de profondeur, c'est la *forte division du fond plasmique*. Les fissures sont nombreuses et ramifiées, à parois *sinueuses* dessinant des formes *bourgeonnantes* qui s'achèvent par l'isolement de *micro-agrégats*. Nous ne présenterons pas de photographies des premières figures de fissuration et de microagrégation puisqu'elles ont été montrées à propos du profil précédent, mais au contraire des stades plus avancés, caractéristiques du sol à l'étude. Le cliché 9 montre un fond plasmique déjà fortement divisé et le cliché 10 une plage aliatode qui n'est occupée que par des microagrégats. Ceux-ci sont irréguliers, ovoïdes ou polyédriques subanguleux, de tailles variables. Les microagrégats sont le plus souvent distribués de façon apparemment quelconque et constituent alors des plages de formes et de dimensions variées. Parfois ces microagrégats sont rassemblés à l'intérieur de volumes plus ou moins régulièrement cylindriques, définis comme des agrotubules et, dans ces conditions, ils possèdent des contours plus régulièrement arrondis. Tous les intermédiaires existent entre plages continues, formes *bourgeonnantes* et plages aliatodes. Sur l'ensemble du profil, la microdivision est toujours forte, elle semble s'accroître encore à la partie supérieure de l'appumite.

Autre point commun avec le profil précédent, les *orientations du fond plasmique* sont très abondantes. Elles définissent des types insépiques (cliché 11) ou mosépiques (cliché 12). Une certaine biréfringence diffuse donne au reste du plasma un léger éclaircissement entre nicols croisés. Ces caractères sont atténués, ou partiellement masqués par la matière organique, dans les horizons supérieurs.

Ce sont les *arrangements plasmiques organisés* qui font la spécificité de ce nouveau profil. Il en existe deux sortes, déjà présentes dans le sol forestier, mais beaucoup plus abondantes ici. Tout d'abord, il faut noter la fréquence des *liserés ovoïdes* (cliché 11). Ils bordent la face libre des microagrégats ou marquent une discontinuité (non visible en lumière naturelle) avec le fond plasmique adjacent. Il existe aussi de nombreuses orientations *masépiques*. Le cliché 13 donne un exemple de ces grandes orientations rectilignes ou parfois légèrement courbes. Le cliché 12 qui a été pris comme illustration du type mosépiques possède également une tendance masépiques.

De nouveaux arrangements sont ici très fréquents, alors qu'ils étaient absents dans le profil gabonais. Les relations plasma-squelette sont pratiquement toujours porphyrosqueliques (clichés 11 à 15). Lorsque les grains du squelette atteignent une taille suffisante, le plasma s'oriente à leur contact constituant un arrangement *squelsépiques*, visible uniquement en lumière polarisée et analysée. Sur le cliché 14, c'est autour d'un nodule ferrugineux de forme ovale que ces orientations apparaissent. Dans d'autres cas, c'est autour de grains de quartz. Ceux-ci ayant très souvent des formes irrégulières, avec de fréquents angles rentrants, les orientations sont alors discontinues. Les arrangements squelsépiques sont généralement complexes, avec un liseré plus ou moins marqué au contact du grain lui-même et une zone périphérique partiellement orientée plus ou moins large. Le deuxième arrangement caractéristique du profil est représenté par les argilanes.

Absents dans la partie la plus profonde du structichron, les *argilanes* apparaissent vers 3,5 mètres de profondeur. Leur développement maximum se situe environ un mètre au-dessus. Ils deviennent ensuite moins nombreux dans le structichron dyscrophe et disparaissent à peu près complètement dans l'appumite. Ces argilanes ne sont pas zonés (par opposition aux ferri-argilanes formés de lits alternés) ou le sont très peu (cliché 16). Ils donnent un éclaircissement vif en lumière polarisée analysée, avec extinction roulante (cliché 15), ce qui laisse supposer une orientation régulière des argiles. En lumière naturelle, les argilanes

sont discernables (cliché 16), bien que leur plasma, de couleur jaune, soit assez peu contrasté par rapport à celui du fond matriciel. Ils apparaissent généralement en situation *vosépique* (c'est-à-dire liés à un vide). Il existe aussi de nombreux *papules*, argilanes ou fragments d'argilanes incorporés dans le fond matriciel.

C'est donc dans la partie intermédiaire du structichron que *se réunissent et se densifient toutes les séparations plasmiques* qui viennent d'être décrites. On observe alors (cliché 15) un matériau fortement biréfringent dans son ensemble, caractérisé par l'abondance des zones orientées du plasma.

2.3. Conclusion

Comparé au sol forestier de la pénéplaine du Nord-Gabon, le sol de savane de la vallée du Niari est caractérisé par :

- une forte *division* du fond plasmique et corrélativement une grande abondance des *microagrégats* ;
- d'importantes orientations *insépiques* et *mosépiques*, analogues à celles du sol gabonais ;
- de nouveaux arrangements, *masépiques* et *squel-sépiques* ;
- et enfin, bien qu'il n'apparaisse pas d'horizon éluvié à la partie supérieure du profil, la présence de nombreux *argilanes* dans le structichron.

3. EXAMEN DE DEUX CAS EXTRÊMES

Nous avons donc étudié un sol de forêt puis un sol de savane, qui sont présentés l'un et l'autre comme des sols ferrallitiques typiques. Cette définition fait en réalité référence à un Groupe particulier de la classification des sols (Aubert et Segalen 1966). Le terme « typique » a été retenu pour désigner ce Groupe parce que, dans les régions équatoriales, ce sont effectivement des sols à structichrons jaunes et profonds qui semblent les plus représentatifs, qui ont la plus grande extension.

Dans l'interprétation généralement admise de l'histoire pédogénétique, les sols ferrallitiques typiques correspondent à un stade avancé de l'évolution. Mais il existe aussi des sols considérés comme plus jeunes qu'eux et d'autres qui sont tenus pour plus anciens et encore plus évolués qu'eux. Il semble intéressant de donner ici ne serait-ce qu'un bref aperçu des caractères

micromorphologiques de profils pouvant représenter des sols occupant une position extrême dans la séquence pédogénétique générale.

3.1. Un exemple de sol ferrallitique pénévolué

Dans le milieu équatorial, l'existence de sols ferrallitiques pénévolués implique des facteurs (roches-mères, reliefs) ayant limité le développement morphologique et l'évolution géochimique. De tels sols se rencontrent fréquemment au Gabon, sur des *surfaces récentes* à pentes fortes, avec des roches mères riches en micas ou illites difficilement altérables, *schistes*, *pélites*, *argilites*.

Ces sols jaunes (7,5 YR 6/8) ont été étudiés notamment par Chatelin (1964) et par Collinet et Forget (1976). Ils sont caractérisés par un *développement morphologique réduit*, comparé à celui des autres sols ferrallitiques. Il s'agit de brachy-apexols ou d'ortho-apexols; l'altérite apparaît à profondeur assez faible. Dans l'appumite et le structichron, la structuration *anguclode* est fortement exprimée, avec des éléments polyédriques, cubiques, prismatiques, devenant plus fins en profondeur. Dans le structichron dyscrophe, la matière organique se distribue en traînées le long des faces structurales.

La faible évolution géochimique est marquée par des rapports *silice-alumine* nettement supérieurs à 2. Les argiles dominantes sont l'*illite* et secondairement la *kaolinite*. Il existe aussi souvent de faibles quantités d'interstratifiés complexes et de chlorites. Malgré l'abondance de ces argiles, la *désaturation* est généralement très forte lorsque ces sols pénévolués se trouvent dans les forêts équatoriales.

Le profil étudié est situé au Gabon (région administrative de l'Ogooué-Ivindo - 11°47'20" E, 00°21'30" S) à une altitude de 220 m au PK 78 de la route Ayem-Lastourville. Il est placé dans un modelé en demi-orange au 1/3 supérieur d'un versant à pente forte (20 %) et recouvert d'une forêt très peu dégradée à sous-bois clair sous une voûte continue de feuillage.

3.1.1. DESCRIPTION MICROMORPHOLOGIQUE

L'ensemble du profil se caractérise par un fond matriciel où le plasma domine très largement. Le squelette, peu abondant, ne montre aucun caractère particulier et l'assemblage plasma-squelette est de type *porphyrosquelique*.

Le plasma présente une teinte d'ensemble jaune assez vif. Cette coloration n'est cependant pas homo-

gène et d'assez nombreuses taches ocre-jaune sont visibles dans les différents horizons du profil. Ces taches sont de formes variées, allongées, sinueuses, arrondies, ovoïdes... et sont parfois associées aux vides ou aux grains du squelette de grande taille. Nous verrons par la suite que ces taches correspondent à des caractères particuliers d'orientation plasmique. En lumière naturelle, le plasma semble constitué d'*éléments d'assez grande dimension* qui lui donnent un aspect très caractéristique grossièrement « granuleux ».

A l'examen microscopique, le sol apparaît *peu fragmenté*. Les plages continues, assez largement développées, sont parcourues par quelques fentes de largeur réduite. Entre ces plages existent des *chenaux* et des *fentes*, sub-verticaux en sommet de profil et sans orientation précise dans le structichron. Ces vides ont des tracés irréguliers et leurs parois sont parfois mamelonnées (cliché 19).

Seul l'appumite montre, par endroits, un morcellement du fond matriciel qui se traduit par la présence de microagrégats de formes polyédriques très irrégulières. Les microagrégats sont séparés par de nombreux vides d'entassement.

En lumière polarisée analysée, le plasma est relativement lumineux et possède donc une certaine biréfringence diffuse. La biréfringence est encore accentuée par de *nombreuses orientations plasmiques*. Comme le montrent les clichés 17 et 18, l'orientation principale est de type *mosépique* ou *insépique*. Il existe aussi des zones montrant de grands alignements de type *masépique* (cliché 17) et d'autres moins nombreuses et de moindre importance où l'orientation est *vosépique* ou *squelsépique*. Les orientations les plus fortes correspondent souvent aux plages ocre jaune précédemment décrites. Ce profil présente donc une *grande diversité* dans les formes d'orientation plasmiques qui s'accroissent du structichron vers l'appumite. Par contre, l'importance de ces orientations diminue depuis les horizons profonds vers les horizons supérieurs.

Les cutanes du type argilane sont peu abondantes, peu épaisses et se localisent dans quelques uns des chenaux parcourant le profil (cliché 19).

L'horizon le plus profond de ce profil (alté-structichron) se distingue par la juxtaposition de *deux phases* : une *phase structichrome* identique à celle décrite ci-dessus et une *phase formée de lithoreliques* schisteuses parfois assez fortement ferruginisées. Dans ces conditions, la limite entre les deux phases est *extrêmement nette* et, au voisinage immédiat des lithoreliques ferruginisées, le plasma de la phase structichrome montre une coloration *sensiblement plus rouge* que

dans le reste de la lame mince. Lorsque les lithoreliques ne présentent pas d'accumulation d'oxydes ou d'hydroxydes de fer, le contact phase structichrome-phase lithorelique est beaucoup moins tranché, pour devenir *pratiquement indiscernable* à certains endroits si l'observation s'effectue en lumière polarisée analysée (cliché 18). Le plasma mosépique de la phase structichrome et la lithorelique présentent le même aspect, la même organisation et la même biréfringence.

3.1.2. CONCLUSION

Plusieurs caractères sont à retenir à la suite de l'analyse de ce profil :

— La présence d'un fond matriciel *peu fragmenté à l'échelle de la lame mince*, le sol montrant par ailleurs un fort développement de la macroagrégation, qui n'apparaît pas ici.

— Un plasma très abondant constitué d'*éléments de grande dimension*.

— L'existence d'une *orientation plasmique très marquée et très diversifiée*.

— La *très faible quantité* de cutanes.

— La *similitude d'aspect* de certaines lithoreliques très transformées et de la phase structichrome environnante, tout au moins en lumière polarisée analysée.

3.2. Un exemple de sol ferrallitique polygénique très évolué

Dans un pays équatorial comme le Gabon, les sols ferrallitiques pénévoués du type précédemment décrit n'apparaissent que sur des roches sédimentaires ou métamorphiques, très riches en minéraux micacés difficilement altérables. Les mêmes roches donnent aussi des sols très fortement évolués, à la fois par leurs caractères morphologiques et géochimiques, sur certains *reliefs anciens* actuellement situés en position de fort drainage. Les uns et les autres sols correspondent donc aux termes extrêmes d'une évolution ferrallitique ou, si l'on préfère ces anciennes expressions, à un stade « juvénile » et à un stade « sénile ». Il est intéressant d'examiner ici deux profils issus des mêmes roches et qui représentent ces deux termes.

Sur les pélites du Francevillien (Précambrien moyen), des sols ferrallitiques polygéniques, à cuirasses fossiles, occupant de hauts plateaux, ont été observés par Chatelin (1968). A côté de cuirasses affleurantes, il s'agit souvent de sols morphologiquement très *développés*. L'appumite a les caractères généraux des appu-

mites non appauvris de forêt (couleur, répartition de la matière organique). Le structichron, très argileux (85 %), de couleur jaune (10 YR 6/8), a une structure élémentaire très fine à éléments polyédriques ou granuleux.

Les caractères géochimiques de ces sols contrastent fortement avec ceux des sols pénévulés issus de mêmes roches mères. Les argiles micacées n'apparaissent pas autrement qu'à l'état de traces. La kaolinite est la phyllite très largement prépondérante. Le rapport silice/alumine est sensiblement inférieur à 2. Il existe un peu d'alumine libre, sous forme de gibbsite, et des quantités importantes de goethite (de 15 à 20 % de fer dans la fraction argileuse). Le complexe d'échange est fortement désaturé.

Le profil étudié est situé (0°52'50" S, 12°44'00" E) à une altitude de 600 m, en position centrale sur le plateau, sous une forêt ancienne, mais qui conserve les traces d'anciens défrichements.

3.2.1. DESCRIPTION MICROMORPHOLOGIQUE

Le sol très riche en argile révèle l'existence d'un plasma jaune ou jaune légèrement brunâtre, régulièrement coloré, *extrêmement abondant*. Noyés dans cet ensemble, on observe quelques grains de squelette quartzeux et l'assemblage plasma-squelette est toujours *porphyrosquelique*. Le plasma apparaît formé d'*éléments de très petite dimension* qui lui confèrent, en lumière polarisée non analysée, un aspect très finement « granuleux » le différenciant nettement du profil ferrallitique pénévulé précédent.

Le cliché 20 illustre l'*extrême fragmentation du fond matriciel*. La structure élémentaire est de type aliatode, mais se distingue de l'orthotype par la forme irrégulière des microagrégats. Il s'agit donc, en fait, d'une *structure aliatode parorthique*. Ce caractère est déjà visible sur le terrain et l'examen micromorphologique permet de confirmer et de préciser la réalité de cette observation. Les microagrégats sont de formes et de tailles très variées (clichés 20 et 21). Si quelques uns d'entre eux ont une silhouette régulièrement arrondie ou ovoïde, la majorité présente des contours polyédriques plus ou moins anguleux. Il est intéressant de remarquer que ce sont les individus les plus petits qui possèdent la morphologie la plus régulière. Le nombre de microagrégats est moins élevé dans la partie supérieure du structichron et dans l'appumite que dans le structichron profond. Ces microagrégats ne présentent *pratiquement pas d'orientation plasmique*, excepté par-

fois un *fin liseré périphérique*, plus ou moins continu, uniquement visible en lumière polarisée analysée. Ces plages fortement microdivisées ont une porosité élevée due aux nombreux vides d'entassement qui se situent entre les microagrégats (clichés 20 et 21). A la partie supérieure du structichron, existent dans ces vides quelques *argilanes* jaune clair, assez peu épaisses (de l'ordre de la centaine de microns) et très peu zonées. Elles constituent parfois des édifices complexes entre les microagrégats (cliché 22).

Les microagrégats, si abondants soient-ils, ne représentent pas la seule structure de ce profil et, par endroits, des plages continues sont visibles. Leurs limites sont, en général, irrégulières, sinueuses et mamelonnées. Elles sont pratiquement toujours parcourues par un réseau assez dense de fentes et de chenaux. Leur coloration est parfois hétérogène et cette hétérogénéité laisse présager l'existence de zones de moindre résistance où peut se développer préférentiellement une fragmentation. *La biréfringence de ces plages continues est très faible* et les *orientations plasmiques peu importantes* sont très difficiles à observer. Par place, existent cependant de grandes orientations *masépiques* et de *très fins liserés* de forme arrondie ou ovoïde délimitant des zones sans aucune orientation intérieure. Ces liserés rappellent ceux qui forment fréquemment la bordure des microagrégats. Le reste du plasma, pratiquement isotrope, est quelquefois faiblement éclairé par une orientation *insépique* peu accentuée.

3.2.2. CONCLUSION

Ce profil très particulier présente plusieurs caractères qu'il est utile de rappeler :

- une *microdivision importante* du fond matriciel particulièrement nette dans le structichron et qui s'atténue quelque peu dans l'appumite,
- la *forme irrégulière des microagrégats* qui permet de définir une structure aliatode parorthique,
- un plasma très abondant *formé d'éléments très fins*,
- une *biréfringence extrêmement réduite* du plasma aussi bien dans les microagrégats que dans les plages continues,
- la présence de *quelques orientations plasmiques* de type *masépique* dans les zones continues,
- l'existence de *quelques argilanes* dans la partie supérieure du structichron.

4. DISCUSSION

Plusieurs sols ferrallitiques jaunes de régions équatoriales ou sub-équatoriales ont été étudiés. Ils correspondent à des situations pédogénétiques variées et présentent effectivement des caractères morphologiques et géochimiques contrastés. La même variété se retrouve dans les organisations microscopiques, mais celles-ci présentent des *caractères généraux très marqués* qui opposeront nettement, ainsi que nous le soulignerons plus loin, les organisations jaunes à celles de couleur rouge.

Les *orientations plasmiques* sont apparues variées et abondantes. Les plus simples forment des ponctuations ou des stries fines, réparties de manière diffuse, en donnant au plasma une biréfringence d'ensemble assez élevée. Des figures plus complexes apparaissent également, qui peuvent être linéaires (masépiques), ovoïdes (squelsépiques), etc. Enfin, les orientations les plus complexes correspondent à des liserés argileux, ou à des *argilanes* classiques, plus épaisses et légèrement zonées tout au moins.

La *microagrégation* conduit elle aussi à une grande variété dans les formes et dans les tailles. Certains microagrégats ont un contour ovoïde très régulier et peuvent être limités par un cortex orienté. Ils doivent être rattachés au type « *granulaire* » défini par Beaudou (à paraître). D'une façon beaucoup plus générale, la microagrégation dans les sols ferrallitiques jaunes qui ont été étudiés est du type « *fragmentaire* » (Beaudou, *op. cit.*). Les contours sont irréguliers, polyédriques arrondis ou subangulaires beaucoup plus souvent qu'ovoïdes. La division des plasmas et par conséquent la microagrégation semblent plus importantes dans les horizons de surface que dans ceux de profondeur, réserve étant faite à ce propos sur la représentativité des échantillons prélevés dans les appumites. Des différences importantes apparaissent d'un profil à l'autre. La microagrégation est parfois peu développée, elle devient au contraire *prépondérante* dans le sol situé sur une ancienne surface et qui a les caractères d'une forte évolution géochimique. Dans ce dernier cas, le développement de la microagrégation s'accompagne d'une nette atténuation des orientations plasmiques décrites précédemment.

Tout ceci oppose nettement les sols ferrallitiques jaunes des régions équatoriales ou sud-équatoriales aux *sols ferrallitiques rouges les plus typés* des régions de savane à saisons contrastées. Ceux-ci sont en effet apparus essentiellement caractérisés (Beaudou 1972, Beaudou et Chatelin 1974) par la rareté des orienta-

tions plasmiques et surtout par une *intense microagrégation*. Les microagrégats de ces sols appartiennent au type « *granulaire* » (Beaudou, *op. cit.*). Ils présentent une très grande régularité à la fois par leur forme ovoïde et par des dimensions de l'ordre de la centaine de microns. Chauvel (1976) les met en relation avec un « *volume critique* » que définiraient des paramètres physico-chimiques.

Malgré la difficulté qu'il y a parfois à les interpréter (*), les observations faites par certains auteurs et notamment par Stoops (1968), Benayas et Refega (1974) semblent devoir confirmer la caractérisation que nous venons de proposer pour les sols ferrallitiques jaunes. Mais en réalité, la répartition des caractères micromorphologiques n'obéit pas plus à une loi zonale stricte que les caractères de couleur eux-mêmes. Dans les *zones forestières sub-équatoriales de transition*, il existe des sols ferrallitiques rouges dans lesquels apparaissent à la fois des plasmas biréfringents très orientés et des plages à microagrégats ovoïdes (type granulaire). C'est ce que montrent les études de Jamet (1975) et de Muller (1977).

Une nouvelle restriction doit être apportée si, au lieu de sols complets relativement homogènes, ce sont des organisations de moindre étendue qui sont considérées. En effet, Beaudou (1972), Chauvel (1976), Muller (1977) ont montré qu'il existe dans de mêmes profils des plages de dimensions variées, les unes de couleur jaune à plasma très orienté, les autres de couleur rouge, asépiques et microagrégées. Dans ces conditions, il faut en venir à la notion d'*organisations* représentées par *deux orthotypes*, entre lesquels bien des variantes existent. L'opposition des sols jaunes équatoriaux et des sols rouges tropicaux rapportée à une opposition de caractères microscopiques représente une vision particulière donnée par une certaine *échelle* de travail.

Il semble bien que ce soit à une conception analogue que Kubierna (1970) est parvenu lorsqu'il opposait « *lehm* » et « *erde* ». D'une part, il admettait l'existence de deux matériaux, l'un peptisé et mobile, l'autre pectisé (coagulé) et stable. D'autre part, ses notions de « *braunlehm* », « *rotlehm* », etc. semblaient s'appliquer aussi bien à des sols complets qu'à des

(*) Les descriptions utilisant le langage normalisé par Brewer (1964) sont généralement excellentes. Mais ce qui n'apparaît pas toujours clairement, ce sont les dominances. Même très rares, certaines figures sont toujours décrites, en raison des interprétations qui leur sont associées. Inversement, il n'est pas sûr que les arrangements peu spectaculaires sont justement pris en compte.

plages microscopiques. C'est à un travail d'historien qu'il reviendrait maintenant d'examiner l'œuvre de Kubiena. Nous soulignerons simplement ici qu'elle a été pratiquement inutilisée par les pédologues de langue française qui ont étudié jusqu'à présent les sols ferrallitiques (*).

Pour une caractérisation d'ensemble des sols ferrallitiques jaunes des régions équatoriales, nous avons tenté dans le présent article d'apporter de simples descriptions, sans nous engager trop loin dans l'interprétation. En conclusion cependant, certaines remarques d'ordre génétique paraissent nécessaires. En confrontant des faits géographiques à des théories proposées par plusieurs auteurs, elles porteront principalement sur le problème de la structuration des plasmas, c'est-à-dire sur le problème de la *microagrégation*.

Les gonflements et les retraits liés à divers états d'humidité engendrent des *contraintes physiques* qui peuvent avoir un rôle important dans la microagrégation. Dans une gamme de sols ferrallitiques variés, Uehara, Flach et Sherman (1962) par exemple ont remarqué que les plus structurés paraissent être ceux dans lesquels existent le plus d'orientations de contraintes (arrangements masépiques notamment). Plusieurs auteurs, comme Boulet (1974), pensent que les premiers plasmas formés sont homogènes et isotopes, et que c'est le jeu des contraintes produites lors d'une évolution ultérieure qui oriente et divise le fond matriciel. Cela constitue un mécanisme possible de microagrégation qui a été retenu, pour certains cas, par Beaudou (1972). Muller (1977) présente les individus ainsi formés comme des « *micropeds de réseau* » et les oppose aux « *micropeds ferritisés* » pour la genèse desquels une accumulation de fer est essentielle. Cette distinc-

tion semble pouvoir être parfois retenue. Les deux processus se produisent sans doute parfois dans de mêmes sols. Mais d'une façon très générale, les contraintes physiques sont primordiales dans les sols ou les matériaux jaunes. Elles produisent un *type de microagrégation bien différent* de celui pour lequel le fer est prééminent et qui caractérise les orthotypes de sols ou de matériaux rouges.

Pedro, Chauvel et Melfi (1976) ont observé dans les sols ferrallitiques du Brésil, des organisations analogues à celles dont il est question ici. Pour ces auteurs, l'évolution de la microstructure est *déterminée par l'évolution géochimique*. En milieu ferrallitique, l'altération proprement dite forme des minéraux kaoliniques et des hydroxydes libres. Le premier stade de l'évolution pédologique se définit par « l'altéropasmatation ». Les phyllites sont libres et subissent gonflements et retraits, les plasmas montrent de nombreuses figures orientées. Un stade ultérieur correspond à la « pédopasmatation ». Il est déterminé par le lessivage des cations basiques qui restaient liés aux argiles et leur remplacement par des ions ferriques, et par le départ des éléments de transition primitivement associées au fer. Les liaisons fer-argile deviennent très fortes, les plasmas perdent leur mobilité et forment des microagrégats ou « *micronodules* ». La *généralisation de la microagrégation* devrait donc se produire dans les milieux les plus fortement désionisés. Ce sont des arguments d'ordre physique et chimique, de même que des tests expérimentaux, qui sont avancés par les auteurs. Par contre, la *répartition géographique* que nous avons esquissée ne semble pas se conformer à ce schéma. Les sols les plus désaturés se rencontrent en effet dans les régions équatoriales. Leurs argiles apparaissent beaucoup plus mobiles que celles des sols moins acides des régions plus sèches de savane.

(*) Exception faite au moins pour Laruelle et Stoops (*op. cit.*) qui sont de nationalité belge.

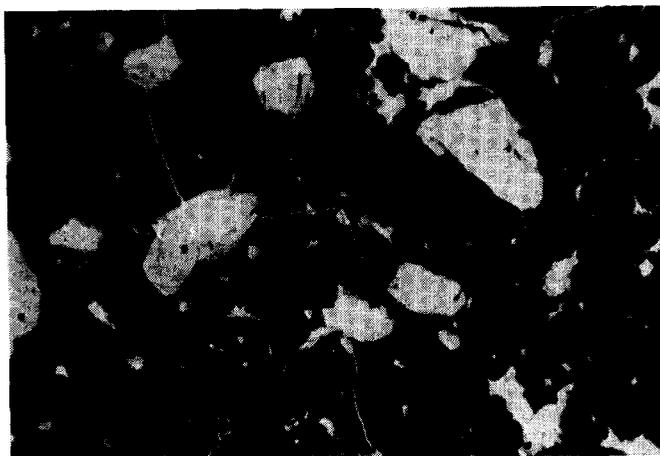
Manuscrit reçu au Service des Publications de l'ORSTOM le 23 décembre 1977

BIBLIOGRAPHIE

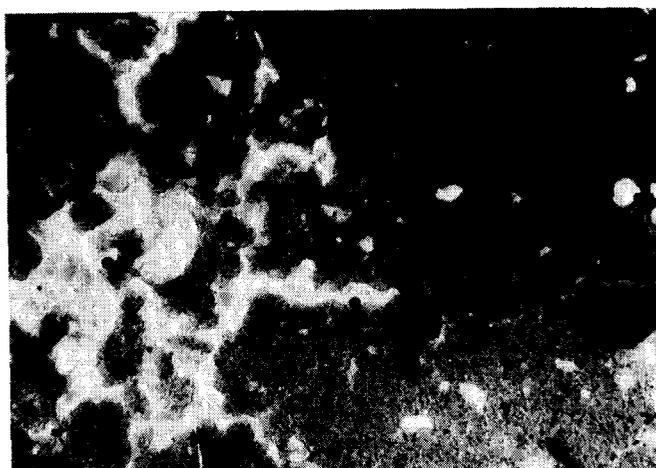
- AUBERT (G.), SEGALIN (P.), 1966. — Projet de classification des sols ferrallitiques. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. IV, n° 4 : 97-112.
- BEAUDOU (A.G.), 1972. — Expression micromorphologique de la microagrégation et de l'illuviation dans certains horizons de sols ferrallitiques centrafricains et dans les sols hydromorphes associés. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. X, n° 4 : 357-371.
- BEAUDOU (A.G.), CHATELIN (Y.), 1974. — Les mouvements d'argile dans certains sols ferrallitiques centrafricains. 10th Intern. Congr. Soil Sci. Moscou, vol. 7 : 247-255.

- BEAUDOU (A.G.), à paraître. — La microagrégation dans les sols. *Encycl. Earth Sci.*
- BEAUDOU (A.G.), COLLINET (J.), 1977. — La diversité des volumes pédologiques cartographiables dans le domaine ferrallitique africain. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. XV, n° 1 : 19-34.
- BENAYAS (J.), REFAGA (A.G.), 1974. — Aplicacion de la micromorfologia a la clasificacion de algunos suelos ferralliticos de Angola. *An. Edafol. y Agrobiol.* 33. 3/4 : 283-294.

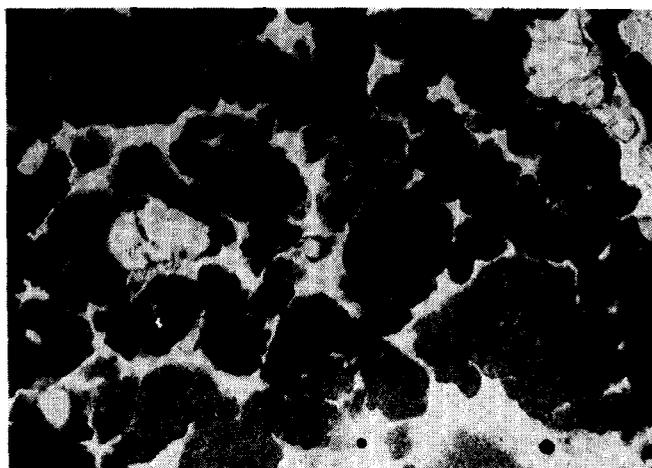
- BOULET (R.), 1974. — Toposéquences de sols tropicaux en Haute-Volta : équilibres dynamiques et bioclimats. Thèse, Fac. Sci. Strasbourg, 330 p. *multigr.*
- BREWER (R.), 1964. — Fabric and mineral analysis of soils. J. Wiley and Sons, 470 p.
- BRUGIERE (J.M.), 1954. — Les argiles faiblement latéritiques à concrétions ferrugineuses de la vallée du Niari, 5^e Congr. intern. Sci. Sol, vol. 4 : 303-307.
- CHATELIN (Y.), 1964. — Notes de pédologie gabonaise (1-2-3). *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. II, n° 4 : 3-28.
- CHATELIN (Y.), 1968. — Notes de pédologie gabonaise (5). *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. VI, n° 1 : 3-20.
- CHATELIN (Y.), MARTIN (D.), 1972. — Recherche d'une terminologie typologique applicable aux sols ferrallitiques. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. X, n° 1 : 25-44.
- CHAUVEL (A.), 1977. — Recherches sur la transformation des sols ferrallitiques dans la zone tropicale à saisons contrastées. Evolution et réorganisation des sols rouges en Moyenne Casamance. Thèse Strasbourg. *Trav. et Doc. ORSTOM*, n° 62, 532 p.
- COLLINET (J.), FORGET (A.), 1976. — Carte pédologique de reconnaissance. Feuille Booué Nord-Mitzic Sud à 1/200 000 ORSTOM, *Notice exp.* n° 63, 160 p. 1 carte h.t.
- DENIS (B.), RIEFFEL (J.M.), 1975. — Carte pédologique Madingou (République Populaire du Congo) à 1/200 000 ORSTOM, *Notice exp.* n° 60, 152 p.
- ESWARAN (H.), SYS (C.), 1976. — Micromorphological and mineralogical properties of the Quoin Hill toposequence, *Pédologie*, XXVI, 3 : 280-291, 3 ph., 2 fig.
- JAMET (R.), 1975. — Pédogenèse sur roches cristallophylliennes et argileuses en milieu équatorial congolais. ORSTOM, Brazzaville, fasc. n° 2, 78 p. *multigr.*
- KUBIENA (W.L.), 1970. — Micromorphological features of soil geography. Rutgers Univ. Press, 254 p.
- LARUELLE (J.), 1956. — Quelques aspects de la microstructure des sols du nord-est du Congo belge. *Pédologie*, 6 : 38-57.
- MARTIN (D.), BOSSENO (R.), 1977. — Etude pédologique de la région Dihesse-Makabana. ORSTOM, Brazzaville, 133 p. *multigr.*
- MULLER (J.P.), 1974. — Morphologie des horizons supérieurs des sols ferrallitiques du Gabon (appumites et épi-structichrons dyscrophes). *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. XII, n° 3/4 : 277-287.
- MULLER (J.P.), 1977. — Microstructuration des structichrons rouges ferrallitiques à l'amont des modelés convexes (centre Cameroun). Aspects morphologiques. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. XV, n° 3 : 239-258.
- MULLER (J.P.), 1977. — La microlyse plasmique et la différenciation des épipédons. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. XV, n° 4 : 345-359.
- PEDRO (G.), CHAUVEL (A.), MELFI (A.J.), 1976. — Recherches sur la constitution et la genèse des terra roxa estruturada du Brésil. *Ann. Agron.* 27.3 : 265-294.
- PIDGEON (J.D.), 1976. — Contemporary pedogenetic processes in a ferrallitic soil in Uganda. *Geoderma*. 15. 5 : 425-436.
- SEGALEN (P.), 1969. — Contribution à la connaissance de la couleur des sols à sesquioxydes de la zone intertropicale : sols jaunes et sols rouges. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. VII, n° 2 : 226-236.
- STOOPS (G.), JONGERIUS (A.), 1975. — Proposal for a micromorphological classification of soil materials. *Geoderma*, 13 : 189-199.
- UEHARA (G.), FLACH (K.W.), SHERMAN (G.D.), 1962. — Genesis and micromorphology of certain soil structural types in hawaian latosols and their significance to agricultural practice. Intern. Soc. Soil Sci. Trans. Joint. Meet. Comm. IV et V : 264-269.
- VERHEYE (W.), STOOPS (G.), 1975. — Nature and evolution of soils developed on the granite complex in the subhumid tropics (Ivory Coast). *Micromorphology and mineralogy. Pédologie*, vol. XXV, n° 1 : 40-55.



1

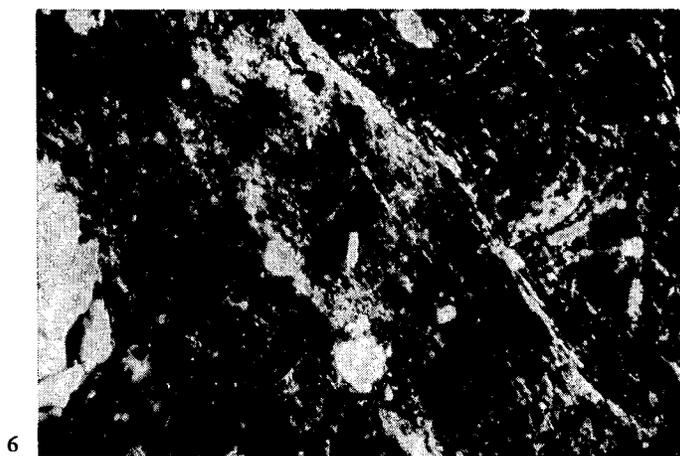
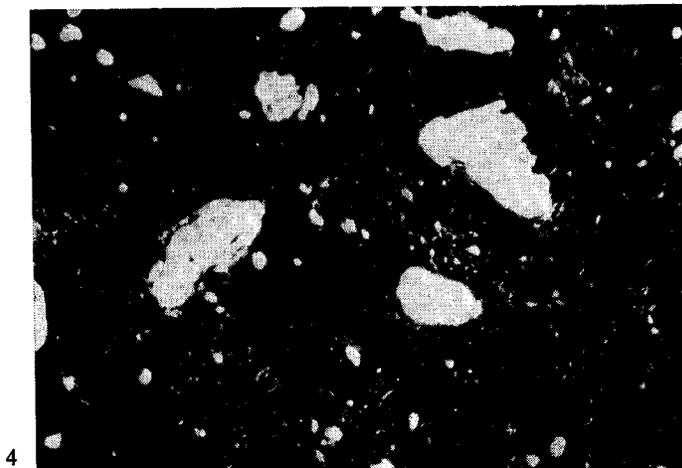


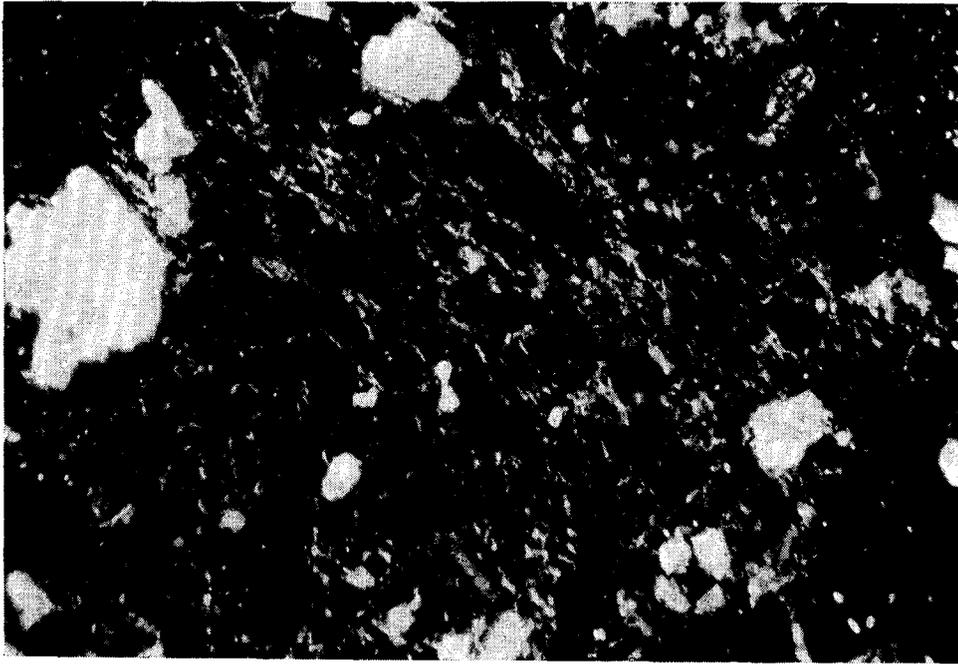
2



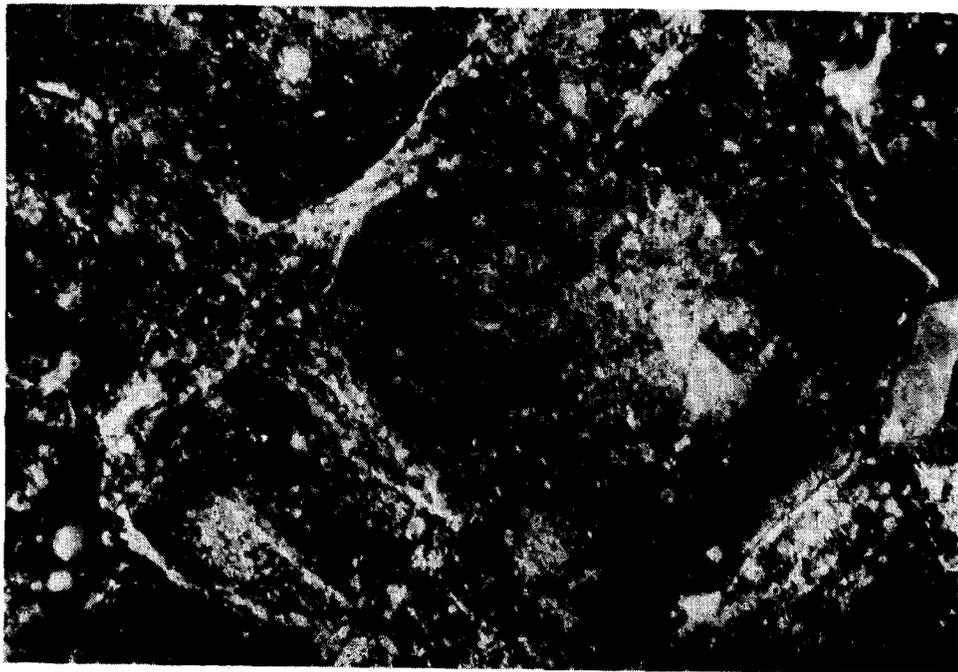
3

PLANCHE II



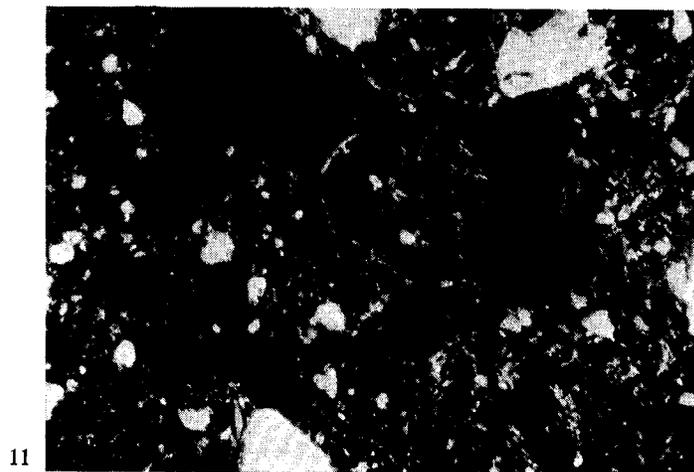
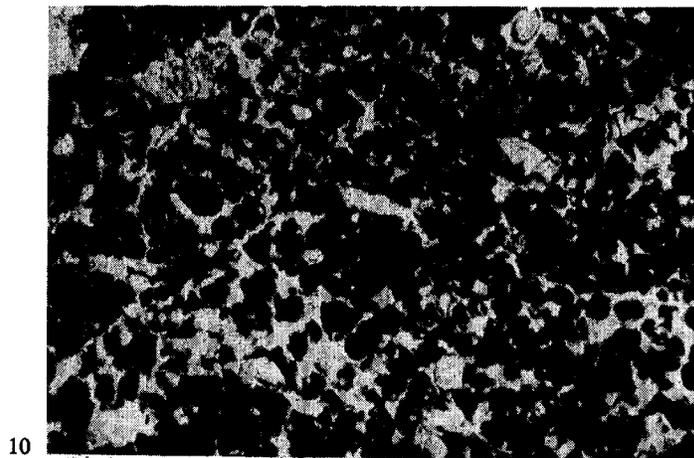
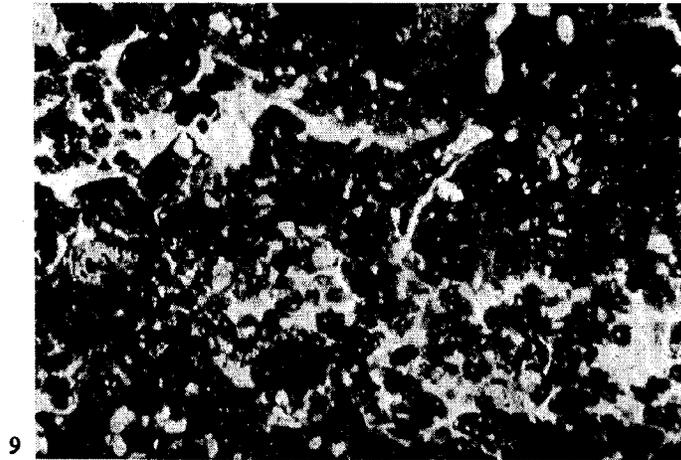


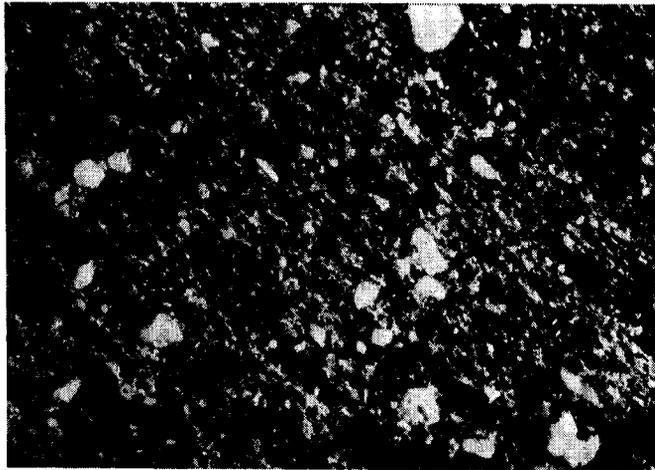
7



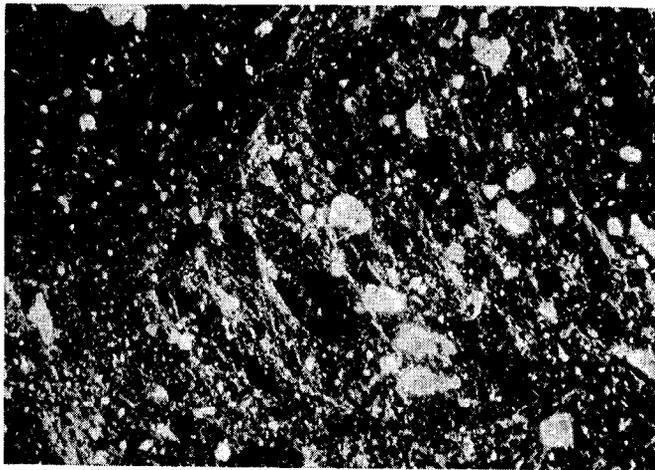
8

PLANCHE IV

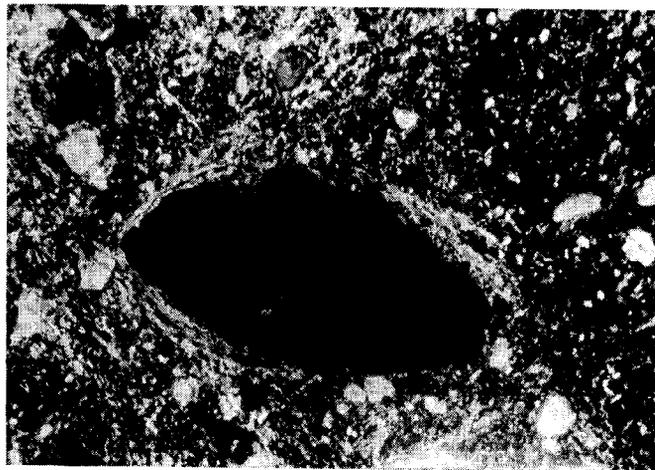




12

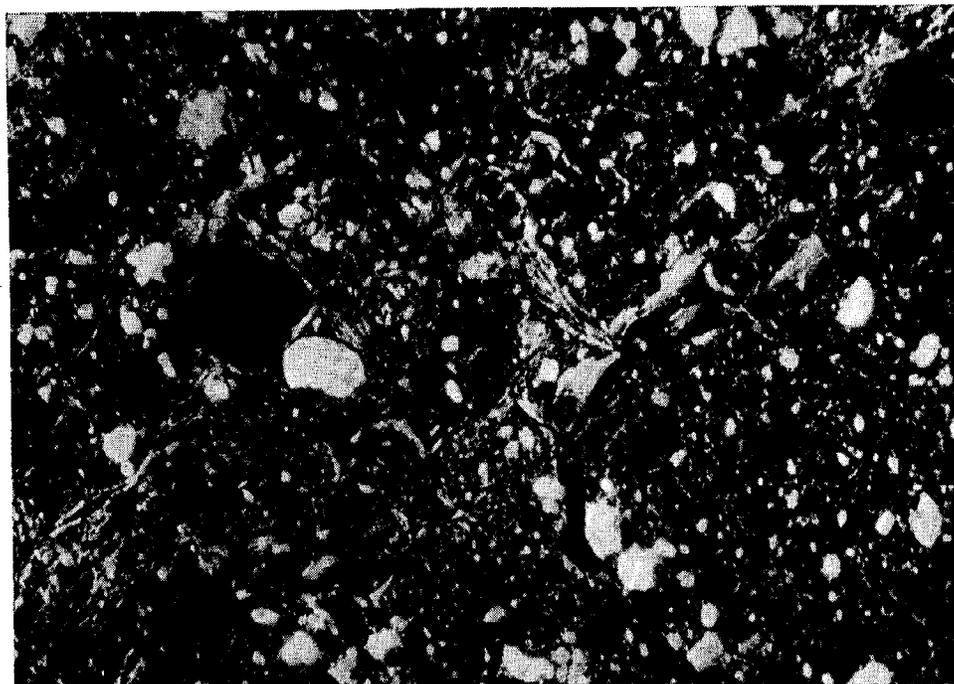


13



14

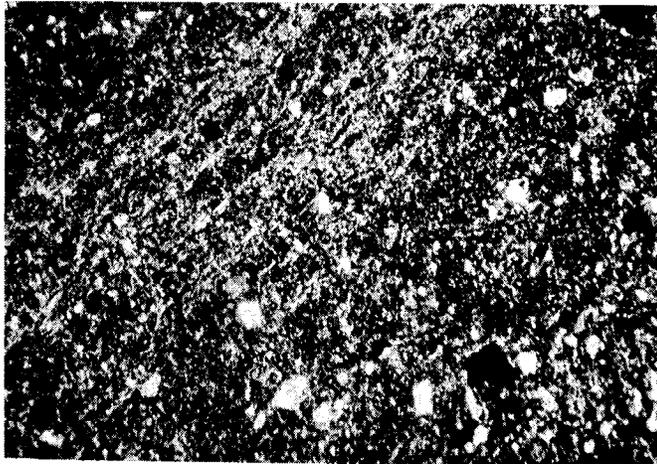
PLANCHE VI



15



16



17

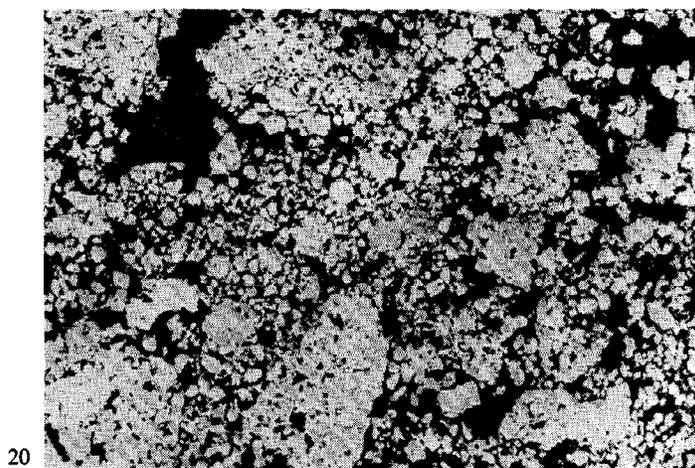


18

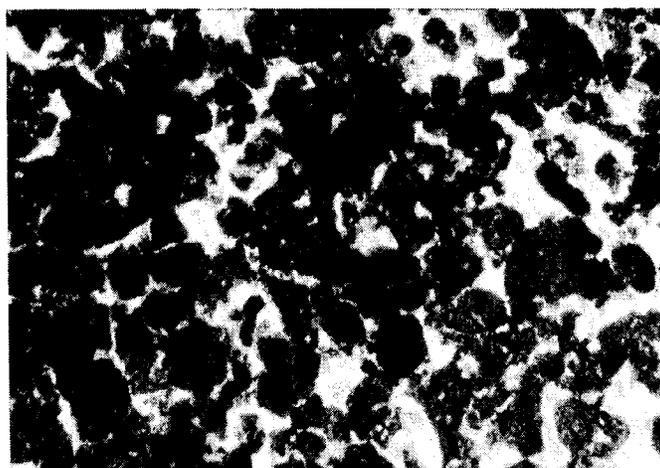


19

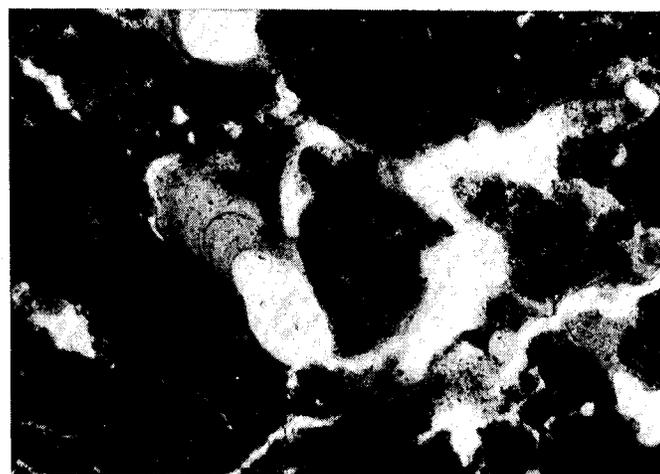
PLANCHE VIII



20



21



22