

# Observation micromorphologique de la partie supérieure des sols rouges ferrallitiques de Casamance (Sénégal)

## Essai d'interprétation de la dynamique actuelle, sous couvert forestier

A. CHAUVEL

*Pédologue à l'ORSTOM  
Laboratoire des sols, INRA*

### RÉSUMÉ

*Cette étude est une tentative pour comprendre l'évolution de la différenciation des sols dans les conditions ou les transformations géochimiques ne constituent plus le phénomène majeur.*

*Les seuls processus de différenciation possibles, qui permettent de comprendre la pédogenèse, ne sont plus alors de nature minéralogique ni géochimique mais sont liés essentiellement à des phénomènes d'organisation et de réorganisation des éléments du sol, ces termes étant pris dans le sens le plus large possible : aspect physico-chimique, mécanique et biologique.*

*On a ici l'amorce de la compréhension de l'évolution des sols rouges en sols beiges, qui sera développée plus complètement dans des études ultérieures.*

### ABSTRACT

*This study is an attempt to understand the evolution of the differentiation of soils whose geochemical conditions or transformations no longer constitute the major phenomenon.*

*The only differentiation processes possible that enable one to understand the pedogenesis are, therefore, no longer of a mineralogic or geochemical nature but are mainly linked to organization and re-organization phenomena of soil elements. These terms are being used in the largest possible sense : physicochemical, mechanical and biological aspects.*

*Here begins the understanding of the evolution of red soils into beige soils which will be more completely developed in further studies.*

### INTRODUCTION

On observe, en Casamance, sous un climat caractérisé par une saison pluvieuse de 5 mois, durant laquelle les précipitations atteignent 1 200 mm, des sols rouges très profonds, développés sur les formations grés-argileuses, kaolinisées, à caractères hérités d'une pédogenèse ancienne (Continental-Terminal).

Ces sols ont été étudiés par de nombreux auteurs, plus particulièrement par R. MAIGNIEN (1961), par C. TOBIAS (1965) et par R. FAUCK (1971). Ce dernier souligne la généralité des phénomènes d'appauvrissement, caractéristiques de ces sols et responsables de l'état de différenciation de leurs horizons supérieurs : les plus superficiels sont organiques et l'analyse révèle qu'ils sont moins riches en certains éléments (argile granulométrique, mais aussi fer et titane) que les

horizons B, profonds, homogènes et rubéfiés qu'ils surmontent.

Cet auteur indique que les mécanismes d'appauvrissement sont étroitement dépendants des modifications apportées à l'équilibre pédogénétique, soit par des changements climatiques, soit encore par des modifications de la couverture végétale, parfois très récentes (déforestation par action de l'homme).

Les caractères des horizons affectés par ces mécanismes sont donc révélateurs de l'évolution pédogénétique actuelle. CHATELIN (1971) a proposé de désigner sous le nom d'« apexsol » la partie supérieure du profil qui regroupe les horizons « appumique » (humifère et/ou appauvri) et « structichrome », les plus directement liés aux phénomènes biologiques et à la fertilité.

Pour étudier les mécanismes actuels de la pédogenèse, c'est à cette partie du profil que nous avons d'abord appliqué les méthodes d'étude de la micromorphologie.

Dans une première étape, nous nous limiterons aux sols dont le couvert forestier a été conservé, ce qui exclut toute évolution liée à l'action directe de l'homme.

Nous nous attacherons tout particulièrement, ici, à saisir l'intervention des mécanismes qui marquent le passage des sols rouges (Ferrallitiques) aux sols beiges (Ferrugineux tropicaux). Notre recherche s'appliquera donc aux profils de transition.

## 1. CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DES SOLS ROUGES « DE TRANSITION »

### 1.1 - Leur localisation dans la toposéquence

La coupe topographique d'une séquence observée à proximité de Salikenié, dans la région de Séfa, sous végétation forestière conservée, est représentée sur la figure 1.

Cette toposéquence est caractérisée, à l'amont par des pentes très faibles (< 0,5 %) et par une topographie légèrement convexe, à l'aval par des pentes un peu plus marquées et par une topographie à peine concave, se raccordant, par delà un léger thalweg, à une surface sensiblement plane.

Au niveau de la surface légèrement convexe (profils U.V.W.X.), on observe une évolution de la couleur

des horizons superficiels qui passent des teintes rouge sombre (10 R 3/2) ou rougeâtre (10 R 4/2 et 4/3) à des teintes plus jaunes (5 YR 4/2).

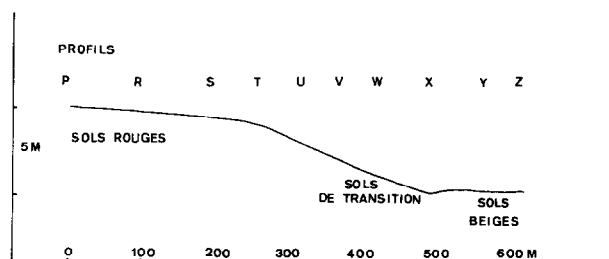


FIG. 1. — Coupe Topographique - Toposéquence de Salikenié.

Ce changement de teinte s'accompagne d'une modification latérale de la structure et de la porosité des horizons superficiels :

— de 0 à 10 cm : passage d'une structure grumeleuse à une structure grumeleuse à particulaire.

— de 10 à 40 cm : passage d'une structure polyédrique à une structure plus large polyédrique à massive, augmentation de la taille des agrégats et diminution de la porosité.

Il est à noter que cette transition ne s'observe pas seulement à l'échelle de la toposéquence, mais encore à une échelle beaucoup plus restreinte, sur quelques mètres de distance, plus ou moins liée au microrelief mamelonné, propre aux sols rouges maintenus sous végétation forestière. Dans des tranchées creusées en n'importe quel point de la toposéquence, il est fréquent de constater des variations de la couleur et de l'état structural des horizons superficiels (moins marquées cependant que celles décrites ci-dessus) manifestées sur une distance de 1 à 2 mètres.

Cette hétérogénéité de l'état des horizons superficiels caractérise toutes les séquences de sols rouges observées en moyenne Casamance. Elle semble constituer un indice de la généralité des processus responsables de leur évolution actuelle.

Les observations mentionnées dans cette étude portent sur les profils situés dans la partie amont des sols de transition, *plus proches des sols rouges que des sols beiges*.

### 1.2 - Leurs caractéristiques minéralogiques

Les minéraux qui constituent la roche-mère de ces sols sont essentiellement : du quartz, des minéraux

très peu altérables du cortège des granites, de la kaolinite, des oxydes et hydroxydes de fer.

Il ne s'y trouve pas, en quantité appréciable, des éléments susceptibles de donner naissance à des minéraux argileux. Il est donc exclu qu'il y ait, dans les horizons superficiels, formation d'argile par altération des minéraux primaires. La kaolinite, seul minéral argileux représenté, est essentiellement héritée de la roche-mère.

La répartition de cette kaolinite dans le profil a été établie à partir des méthodes d'analyse thermogravimétrique (fig. 2).

Les résultats de cette étude font ressortir :

— en première approximation une variation de la teneur en minéraux argileux.

- très forte de 0 à 45 cm (de 9,5 à 28 %)
- plus progressive de 45 à 75 cm (de 28 à 36 %)
- s'atténuant de 75 à 170 cm (de 36 à 42 %).

— si on les examine plus en détail, ils révèlent, en outre, l'existence de plusieurs maxima situés à 45, 75 et 170 cm de profondeur. Dans quelques rares profils, un quatrième maximum est observé dans l'horizon superficiel (de 0 à 10 cm).

— une telle répartition des minéraux argileux ne pouvant, dans le cas présent, résulter de la formation de kaolinite in situ, son origine doit donc être recherchée dans la mise en œuvre des processus pédogénétiques, non géochimiques, et plus particulièrement de ceux qui peuvent intervenir dans le déplacement d'éléments fins dans le profil.

### 1.3 - Leurs caractéristiques physiques

L'étude granulométrique a été réalisée en faisant appel à deux méthodes différentes de préparation des échantillons, préalablement à la séparation granulométrique proprement dite :

— la première d'entre elles vise à ne dissocier que les assemblages dont les constituants argileux sont facilement dispersables. Elle évite donc l'utilisation de tout réactif susceptible de solubiliser les liants ferrifères (notamment l'acide phosphorique contenu dans l'eau oxygénée « technique »), tout en cherchant à réaliser les conditions les plus favorables aux phénomènes de dispersion (élimination des ions flocculants et de la matière organique, établissement d'un pH convenable, agitation mécanique par retournement durant 4 heures).

— la deuxième a, au contraire, pour objectif de dissocier la totalité du matériau de façon à recueillir dans la fraction granulométrique argileuse la totalité de la kaolinite. Elle ajoute aux traitements cités précédemment l'action de réactifs complexants et réducteurs, susceptibles de solubiliser toutes les substances qui interviennent comme ciment, en portant le moins possible atteinte aux autres constituants.

Les travaux relatifs au choix et à l'utilisation de ces méthodes d'étude granulométriques ont fait l'objet de précédentes publications (CHAUVEL - 1967-1969-1972).

Les résultats obtenus sont représentés graphiquement sur la figure 2.

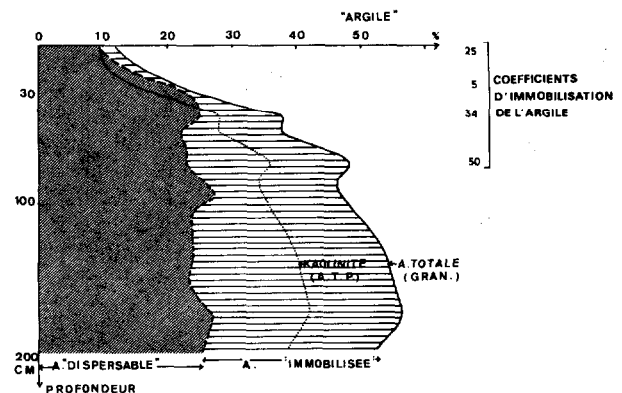


FIG. 2. — Répartition de la kaolinite, de l'argile dispersable et de l'argile totale dans le profil.

L'examen des courbes de répartition de l'argile granulométrique « totale » et « dispersable » conduit à plusieurs remarques :

— La répartition de l'argile granulométrique « totale » dans le profil est semblable à celle de l'argile minéralogique (kaolinite déduite des données thermogravimétriques).

— La répartition de l'argile dispersable est, en revanche très différente. Elle présente aussi des maxima, mais ceux-ci ne coïncident pas avec ceux de l'argile totale.

— l'écart entre les deux courbes granulométriques correspond à la quantité d'argile immobilisée. Celle-ci représente une fraction très variable de l'argile totale. C'est ainsi que le « coefficient d'immobilisation » de l'argile

$$\frac{(A. Totale - A. dispersable \times 100)}{A. totale} \quad (A. CHAUVEL, 1972)$$

voisin de 25 dans l'horizon superficiel, passe par un minimum de 5 dans l'horizon sous-jacent, puis remonte progressivement pour atteindre 50 à 75 cm.

Les résultats de l'analyse granulométrique sont donc révélateurs des variations verticales, non seulement de la constitution élémentaire des matériaux pédologiques (argile totale), mais encore de celle de leur état d'association qui commande leur plus ou moins grande immobilité relative.

Aucun de ces résultats ne peut cependant être interprété de façon pleinement satisfaisante, en terme de pédogenèse, sans l'apport des données fournies par l'étude micromorphologique (cf. ci-après).

De très nombreuses déterminations de densité apparente (par prélèvement au cylindre) ont permis par ailleurs d'évaluer les variations verticales de la porosité dans les profils de sol étudiés.

Les résultats obtenus sont très dispersés, et ceci même pour des échantillons prélevés à faible distance les uns des autres, dans une même tranche pédologique. Leurs valeurs moyennes manifestent cependant, très généralement, l'existence d'un minimum de porosité situé entre 20 et 40 cm. Ce résultat est en accord avec les conclusions des études faites par COINTEPAS (1960).

Le développement d'un minimum de porosité est dépendant de la texture et de l'association des constituants du matériau pédologique de l'horizon correspondant. Il nous est apparu intéressant de procéder à l'étude micromorphologique des échantillons prélevés à ce niveau.

## 2. ETUDE MORPHOLOGIQUE ET MICRO-MORPHOLOGIQUE

Après avoir étudié la constitution minéralogique élémentaire et les caractéristiques physiques globales des horizons étudiés, il est nécessaire de revenir aux données d'observation afin de préciser la signification pédogénétique réelle des résultats obtenus (le repérage des horizons examinés est indiqué sur la figure 3 et le tableau 1).

La surface du sol, à l'emplacement considéré, est caractérisée par le développement d'une couverture végétale importante (arborée et graminéenne) et par la présence de nombreuses termitières érigées, de couleur rouge.

Après enlèvement des herbes, aucune litière n'est observée sur le sol nu.

### 2.1 - L'horizon humifère A (de 0 à 18 cm)

On y distingue deux sous-horizons :

— de 0 à 9 centimètres : couleur gris brun rouge (5 YR 4/2), hétérogénéité nettement visible, marquée par la présence de ponctuations rouges concentrées dans/ou à proximité des pores grossiers, ainsi que d'agrégats rougeâtres et de zonations grises — quelques débris organiques — texture sableuse, faiblement argileuse, à sables grossiers irrégulièrement répartis — structure grumeleuse moyenne à particulaire — porosité très forte, intergranulaire et surtout tubulaire, vacuolaire et vésiculaire, de dimensions moyennes — cohésion faible, friabilité élevée — nombreuses racines fines et moyennes pénétrant les agrégats — activité biologique intense.

— de 9 à 18 centimètres : transition progressive vers une couleur plus claire (5 YR 5/4) — texture légèrement plus argileuse — structure peu nette, polyédrique grossière à particulaire — porosité élevée, intergranulaire et tubulaire — nombreuses racines. Activité biologique intense, marquée par la présence de nombreux nids et galeries d'insectes de grandes dimensions (plusieurs centimètres).

Sur la lame mince (1), on distingue deux types d'assemblages différents juxtaposés qui se répartissent de façon inégale : tandis que les premiers, largement dominants (4/5 de la surface) représentent la masse du matériau, les seconds sont entièrement concentrés autour d'un système de cavités.

*Le premier type d'assemblage (dominant) est presque uniquement constitué par les éléments du squelette.*

Il correspond à un empilement très lâche de grains de quartz hétérométriques.

Le plasma, très peu abondant, forme de fins amas noirs à brunâtre, sans organisation particulière. Il figure sous forme de placages sur certains grains isolés (assemblage granulaire) ou, plus rarement, constitue des ponts intergranulaires (assemblage intertextique).

Ce type d'assemblage correspond sensiblement à celui présenté sur la partie gauche de la photographie n° 4.

(1) L'analyse des lames minces de sol au microscope pétrographique a été faite selon la méthode et la terminologie de BREWER (1964).

Les lames minces ont été fabriquées par P. MERCKY au centre ORSTOM de Dakar (Sénégal).

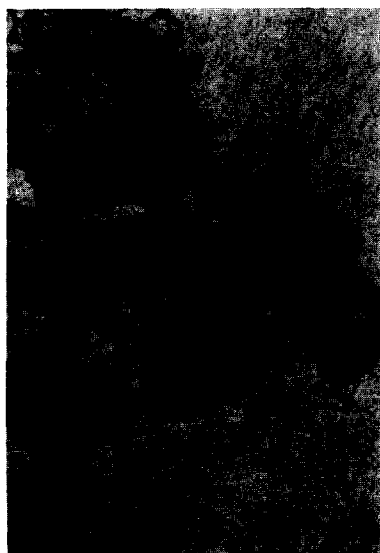


Photo 1



Photo 2

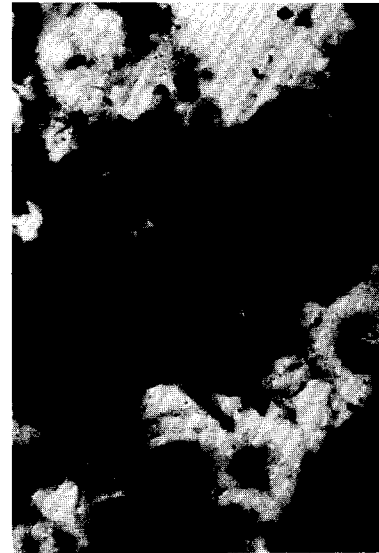
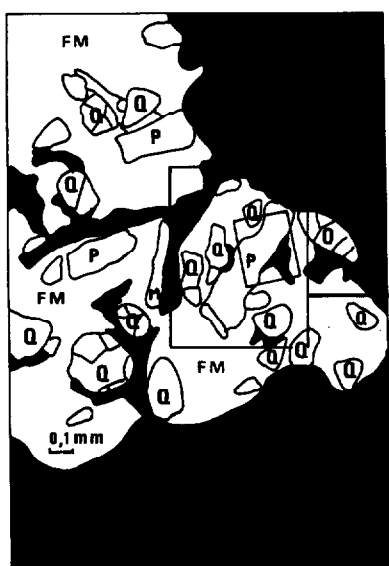
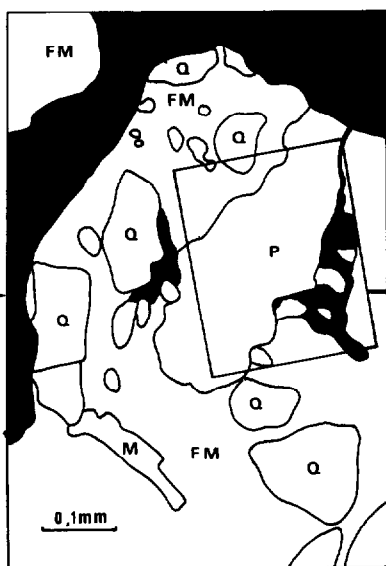


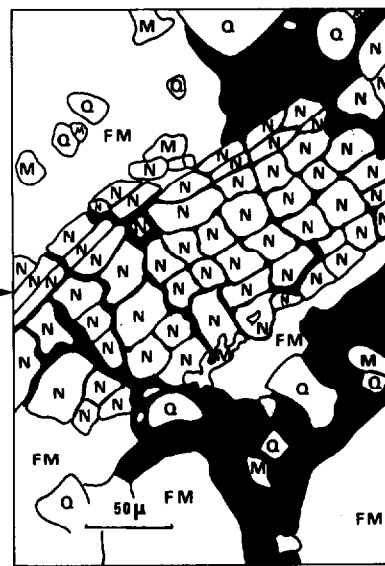
Photo 3



1



2



3

- |        |                     |                   |
|--------|---------------------|-------------------|
| Vide   | P Pédotubules       | N Nodules         |
| Quartz | M Matière organique | FM Fond matriciel |

Horizon humifère  
Parois et détail des cavités irrégulières.



Photo 4

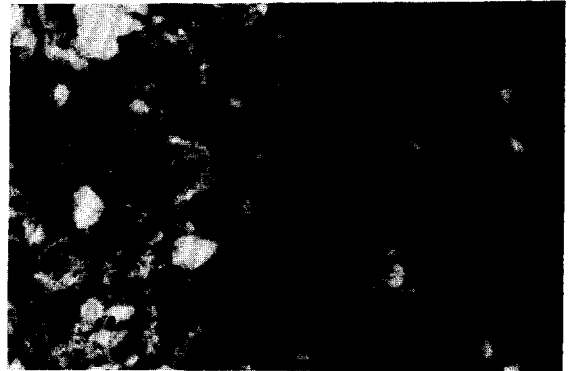
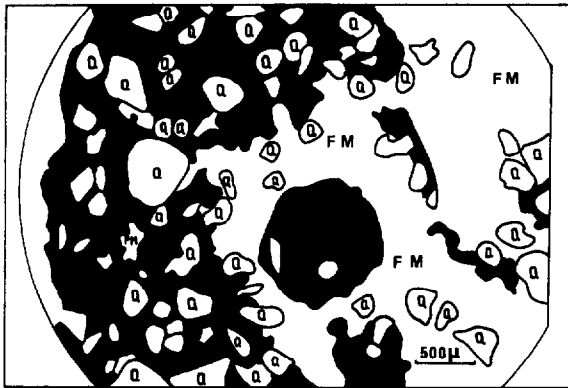


Photo 5



4



5

	Vide		Nodules
	Quartz		Matière organique
	Fond matriciel		Plasma

#### Horizon humifère

Cavités régulières : ensemble et détail du fond matriciel.

*Le deuxième type d'assemblages (1/5 de la surface) est caractérisé, au contraire, par une nette dominance des éléments fins.*

Il est regroué autour de deux sortes de cavités (vughs), de dimensions moyennes à grossières, qui diffèrent par leurs formes.

*Les cavités irrégulières (irregular vughs) ont des formes anguleuses diverses et constituent le point d'aboutissement des chenaux.*

Elles sont localement encombrées par des amas de matériau fin, brunâtre, irrégulièrement réparti.

Leurs parois rugueuses apparaissent comme étant dues à l'entassement, plus ou moins organisé ou perturbé, du plasma et des grains du squelette. Elles ne présentent pas de traces de lissage (photo 1, 2 et 3) ; il s'agit d'orthovides.

L'assemblage du matériau qui entoure ces cavités, de type très lâche, laisse place à une porosité importante ; il est aggloméroplasmique.

Les constituants de ce matériau sont les suivants :

— des grains de quartz, très hétérométriques, de forme anguleuse ou subanguleuse.

— des particules organiques grossières, de 50 à 500  $\mu$ , en forme de bâtonnets et d'amas de couleur noire, répartis sur le pourtour des chenaux.

— des nodules rouges, de 30 à 50  $\mu$  de diamètre, de forme anguleuse émoussée à arrondie, isotropes ou faiblement anisotropes (partiellement éteints en lumière polarisée). Ces éléments sont assemblés sous forme de volumes tubulaires dont l'empreinte, soulignée par des éléments organiques, correspond à un chenal (pédotubule). L'assemblage des nodules se fait par imbrication d'éléments allongés à la périphérie et par juxtaposition d'éléments plus globuleux au centre (aspect de framboise - photo n° 3).

— du plasma jaune, argilasepique, peu représenté, sous forme de remplissages lâches et incomplets entre les grains de quartz, les éléments de matière organique et les nodules.

*Les cavités régulières (régular vughs) sont de formes sphériques ou ellipsoïdales, légèrement mamelonnées, sans angles rentrants (photo n° 4).*

Leurs parois sont lisses (il s'agit donc de métavides).

Certaines sont pratiquement vides et la concentration du plasma à leur périphérie forme un anneau continu, d'autres sont emplies par un assemblage très lâche de grains de quartz (de type granulaire) et ne sont entourées que par des arcs discontinus de matériau plasmique.

En certains endroits de la lame mince, les parois des cavités vides recoupent les parois des cavités pleines où s'emboîtent en elles. Sur la photo n° 4 on distingue ainsi une cavité à parois discontinues, de diamètre important (700  $\mu$ ) dans laquelle est emboîtée une cavité de diamètre moindre (100  $\mu$ ), vide.

Le pourtour des cavités apparaît marqué par une densité accrue du matériau, par un amincissement de la taille des grains de quartz et surtout par un accroissement très important de la richesse en éléments fins.

L'examen à fort grossissement ( $G = 25$ ) du matériau situé à proximité des cavités (photo n° 5) révèle que les grains du squelette y sont entièrement ennoyés par un plasma abondant : l'assemblage est porphyrosquelique.

Dans ces zones, le fond matriciel apparaît constitué :

— par des grains disséminés

— de quartz, blancs, de forme arrondie à subanguleuse, de diamètre compris entre 20 et 50  $\mu$  (Q),

— de matière organique, noirs, en forme de bâtonnets et d'amas, de dimensions comprises entre 10 et 50  $\mu$  (M),

— de nodules rouges (gris sombre sur la photographie), dont l'assemblage interne est identique à celui des nodules observés autour des cavités irrégulières, mais dont la forme est arrondie et le diamètre plus petit, compris entre 10 et 30  $\mu$  (N).

Les limites de ces nodules, parfois marquées par un liséré blanc, sont nettes à diffuses ; à l'extrême, on passe à des halos globulaires, en continuité avec le plasma.

— par un plasma continu, jaune, argilasepique, marqué par d'innombrables ponctuations et halos noirs et rouges. Ce plasma est très largement dominant ; il correspond, par endroit, à plus de 70 % du matériau étudié.

*Conclusions sur les caractères micromorphologiques de l'horizon humifère et sur leur variation verticale (fig. 3) :*

Les cavités irrégulières, entourées de chenaux et de pédotubules, sont surtout abondantes dans les 10 premiers centimètres. Il s'agit d'une porosité d'origine biologique, avec des remplissages de même origine (amas de matériau fin brunâtre et pédotubules). Ces cavités prennent place dans un matériau constitué par un empilement de grains de quartz et de débris organiques (assemblage granulaire).

Entre 10 et 18 centimètres, le fond matriciel, constitué par des nodules rouges, par des éléments organiques et par de petits grains de quartz disséminés dans la masse plasmique jaunâtre, prend une importance croissante et se répartit de façon plus homogène dans le matériau formant des ponts intergranulaires (assemblage intertextique). Les vides restent nombreux, ce sont surtout des chenaux et des cavités de formes plus ou moins régulières. De fins argilanes, de couleur jaune, à peine orientés, peu distincts du plasma environnant y apparaissent sur les parois.

*L'augmentation de l'importance du fond matriciel, coïncidant avec l'apparition de fins argilanes dans les chenaux semble mettre en évidence l'intervention d'un lessivage de l'argile.*

## 2.2 - L'horizon de transition : AB (de 18 à 32 cm)

Cet horizon est surtout marqué par une variation de la couleur qui s'éclaircit dans les teintes jaune rouge (5 YR 5/6 à 5/8), puis passe rapidement à des teintes plus rouges (2,5 YR 5/6), tandis que la texture devient sablo-argileuse et que la porosité, intergranulaire et tubulaire fine tend à diminuer.



Photo 6

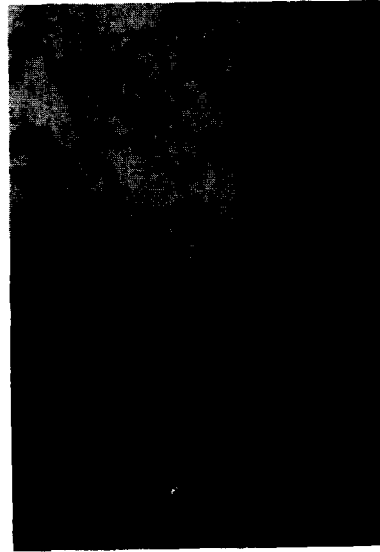
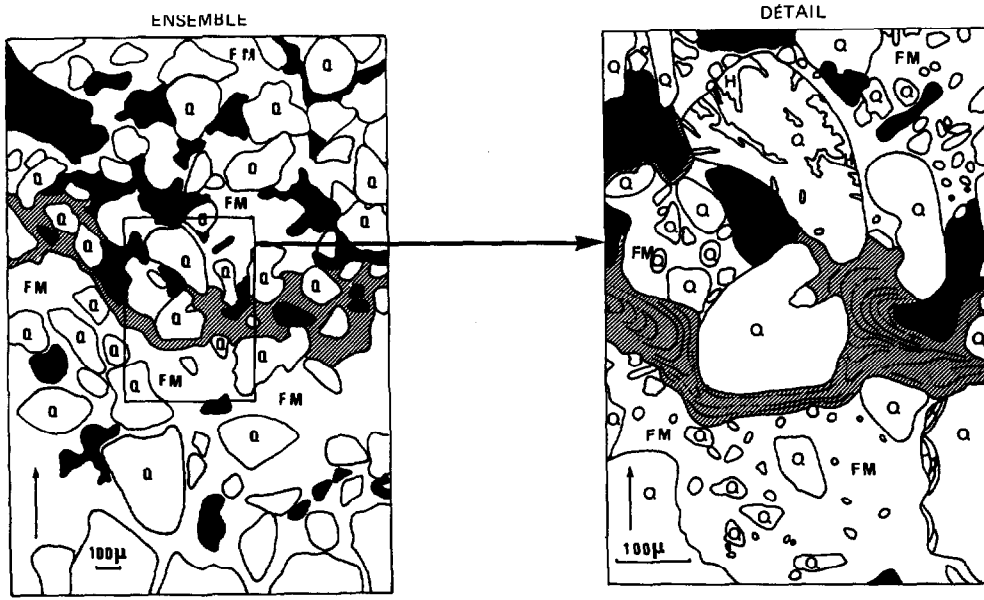







Photo 7



6

7

-  Vide
-  Quartz
-  Fond matriciel
-  Incrustations d'Hématite
-  Argillanes

Horizon de transition.





Photo 8

Sur la lame mince (qui correspond au prélèvement fait de 25 à 30 cm) on observe aussi une transition distincte, bien visible sur la photographie n° 6 orientée verticalement.

Sur la partie supérieure de cette photo, le fond matriciel qui ne contient que quelques rares nodules rouges, constitue des ponts intergranulaires ou envoie les grains du squelette (assemblage intertextueux à porphyrosquelique). Les vides sont nombreux ; ce sont surtout des chenaux et des vides intergranulaires. Sur leurs parois, on observe localement les mêmes minces argilanes jaunes que dans la partie inférieure de l'horizon humifère.

Sur la partie inférieure de la photo, par contre, le plasma devient plus abondant dans un fond matriciel qui envoie tous les grains du squelette, l'assemblage porphyrosquelique se généralise et les vides se rarefient.

Entre les deux, un argilane, de couleur jaune, peu limpide, à limites nettes, faiblement orienté, constitue une nappe subhorizontale discontinue.

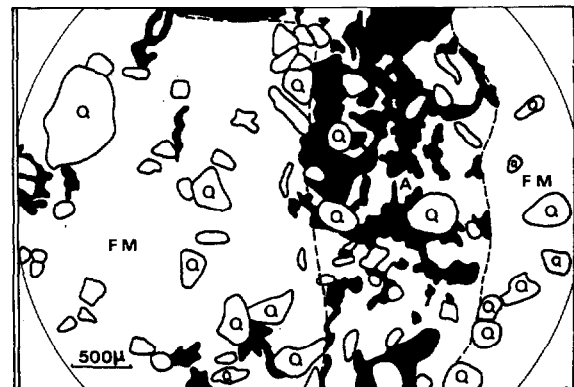
**2.3 - L'horizon B1 (de 32 à 75 cm)**

De couleur rouge (2,5 YR 5/8), sa texture devient argilo-sableuse, sa structure polyédrique et sa cohésion forte.

Sa macroporosité est remarquable, due essentiellement à des galeries, généralement emplies de matériau meuble, dont le diamètre atteint plusieurs centimètres. On y observe aussi des nids d'insectes tapissés d'éléments fins.

Sur la lame mince, on remarque tout de suite l'opposition entre deux types de matériaux :

— le premier correspond à la partie gauche de la photo n° 8. Il est caractérisé par l'abondance relative



Horizon B<sub>1</sub>

du plasma qui envoie la totalité des grains du squelette (assemblage porphyrosquelique) et, surtout, par la rareté des vides.

— Le second, qui correspond à la partie droite de la photo, est constitué par un empilement lâche de micro-agrégats ou « micropeds », dont le diamètre est de l'ordre de la centaine de  $\mu$ , et de grains du squelette constituant une masse granulée, très poreuse, sans arrangement directionnel particulier.

Ces micropeds tendent à prendre une couleur plus rouge que celle du matériau environnant. Le mode d'assemblage de chacun est de type porphyrosquelique mais leur masse tend à prendre un aspect aggloméroplasmique.

— Entre les deux types de matériaux, les surfaces de séparation sont nettes, marquées par une variation brutale de la porosité, elles correspondent, en fait, aux limites d'un réseau d'aggritubules (portées en pointillés sur le dessin de la photo n° 8).

Les caractères micromorphologiques de l'horizon A, AB, et B<sub>1</sub>, sont récapitulés sur la figure n° 3.

**3 - DISCUSSION GÉNÉRALE**

**3.1 - Identification et répartition des constituants**

Après avoir appliqué aux échantillons de sols, prélevés de 0 à 75 cm, les méthodes d'étude granulométrique et micromorphologiques, il nous a semblé

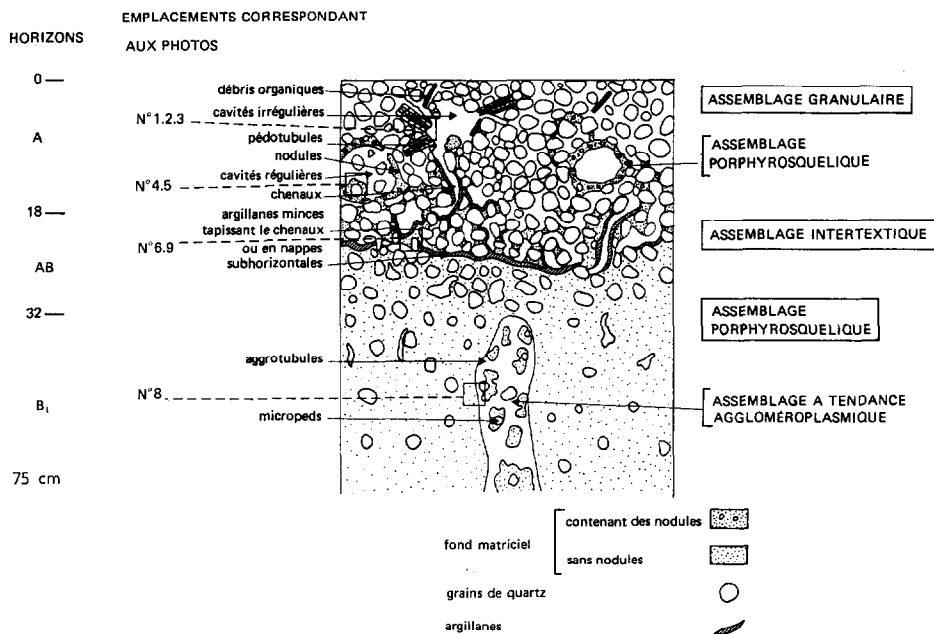


FIG. 3. — Schéma d'organisation micromorphologique de la partie supérieure du profil.

utile de rassembler sur la figure 4 l'ensemble des données obtenues.

Il apparaît que l'horizon humifère est caractérisé, non seulement par sa faible teneur en argile granulométrique totale (13 %), mais encore par le fait qu'une partie appréciable de cette argile se trouve immobilisée

sous une forme résistante aux traitements dispersants usuels (coefficient d'immobilisation égal à 25).

En accord avec ce résultat, l'observation microscopique révèle la rareté du plasma. Elle met surtout en évidence la répartition inégale des constituants dans la masse du matériau pédologique : tandis que

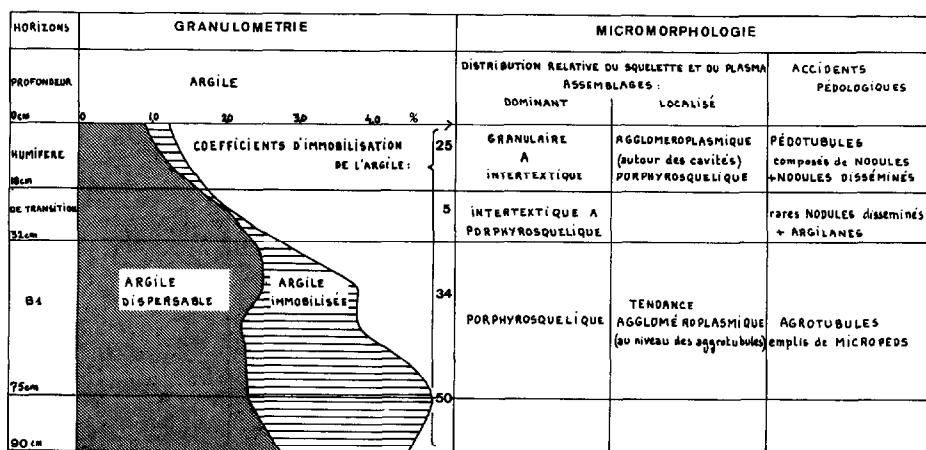


FIG. 4. — Données granulométriques et micromorphologiques.

les grains de quartz isolés ou reliés entre eux par des ponts intergranulaires constituent les 4/5 du volume, la partie restante regroupe à la fois, la plus grande partie des éléments organiques, la presque totalité du plasma et des nodules rouges, assemblés sous forme de pédotubules autour des cavités irrégulières, ou noyés dans un plasma abondant autour des cavités régulières.

L'hypothèse selon laquelle l'argile granulométrique immobilisée correspondrait aux nodules rouges paraît vraisemblable. Elle est confirmée par l'observation microscopique des sables et limons, séparés après un traitement dispersant peu agressif, qui révèle la présence de « pseudoparticules », surtout abondantes dans la fraction de 20 à 50  $\mu$  (« pseudoparticules » qui ne se retrouvent pas dans les sables et limons séparés après un traitement complexant). Elle est également confirmée par l'application des méthodes d'analyse thermique qui mettent en évidence la nature essentiellement kaolinique de ces « pseudoparticules ».

*L'argile granulométrique dispersable correspondrait, pour sa part, au plasma jaune.*

Dans l'horizon de transition, la teneur en argile granulométrique totale augmente fortement (de 17 à 27 %), tandis que la fraction immobilisée de cette argile devient très faible.

L'observation microscopique révèle surtout un accroissement de la proportion relative de plasma jaune dans un fond matriciel pédoturbe, de moins en moins riche en nodules rouges, qui constitue des ponts intergranulaires, puis ennoie tous les grains du squelette.

La zone de passage entre ces deux modes d'assemblage est marquée par la présence de revêtements argileux discontinus, sous forme d'argilanes jaunâtres, qui obstruent une partie des vides.

*Le plasma jaune et les argilanes correspondraient à l'argile dispersable tandis que les rares nodules rouges disséminés constitueraient la seule forme d'immobilisation de l'argile présente à ce niveau.*

Plus bas, dans l'horizon B1, la teneur en argile totale continue à croître fortement (de 27 à 48 %), tandis que la teneur en argile dispersable, après avoir atteint une valeur maximale de 35 à 45 centimètres, diminue faiblement et se stabilise autour de 23 %. La fraction immobilisée atteint, à ce niveau, 34 % de l'argile totale.

L'observation microscopique révèle, en premier lieu une forte augmentation de l'importance relative du

plasma, principal constituant d'un fond matriciel dans lequel se disséminent les éléments du squelette. Les argilanes disparaissent totalement, de même que les petits nodules rouges caractéristiques des horizons supérieurs. L'élément nouveau est l'apparition d'agrotubules emplis de micropeds.

Seul l'examen microscopique des sables et limons, séparés après un traitement dispersant peu agressif, est susceptible de nous renseigner sur la nature des formes d'immobilisation de l'argile présentes à ce niveau : on constate que celles-ci correspondent à des pseudo-particules complexes, dont les dimensions sont de l'ordre de la centaine de  $\mu$ , de formes arrondies ou anfractueuses, constituées par une masse plasmique dans laquelle sont encastrés de petits grains de quartz. Il apparaît que ces pseudoparticules ont une conformation identique à celle des micropeds contenus dans les agrotubules.

L'argile immobilisée correspondrait donc aux micropeds et l'argile dispersable, au restant de la masse plasmique.

Deux faciès différents d'immobilisation de l'argile ont donc été mis en évidence dans les horizons étudiés ; leurs caractéristiques principales sont regroupées dans le tableau 1.

### 3.2 - Interprétation pédogénétique

Les caractères qui dominent dans les 4/5 du volume de l'horizon humifère sont la rareté du plasma et l'importance des vides intergranulaires.

Ces caractères semblent témoigner de la prédominance des phénomènes d'éluviation à ce niveau du profil.

L'organisation du système de cavités qui caractérise, par ailleurs, cet horizon met en évidence une certaine chronologie relative :

Les cavités irrégulières ne sont jamais recoupées par d'autres vides importants, elles sont donc les plus récentes. Leur organisation résulte d'une activité biologique actuelle : raccordement aux chenaux, encombrement par des matériaux brunâtres fins, accumulation de débris organiques et de petits nodules rouges assemblés sous forme de pédotubules.

Le résultat de cette activité est un apport de matériaux, sous forme particulière ou pseudoparticulaire. S'il est facile de trouver l'origine des éléments organiques dans la couche superficielle (débris végétaux), il faut, en revanche chercher plus loin pour trouver celle des nodules rouges, composés principalement de

TABLEAU 1

Caractéristiques des faciès d'immobilisation de l'argile correspondants à deux types de pseudoparticules

Caractéristiques granulométriques	Caractéristiques micromorphologiques				
	Localisation	Disposition	Dimensions	Forme	Isotropie inclusions
Particules réfractaires aux traitements de dispersion habituels « pseudoparticules »	Horizon A « Nodules »	Assemblés sous forme de <i>pédotubules</i> (autour des cavités régulières) ou disséminés dans la masse plasmique (autour des cavités régulières)	de 30 à 50 $\mu$	<i>Emoussée</i>	Isotropes ou faiblement anisotropes sans inclusions de quartz.
			de 10 à 30 $\mu$	<i>Arrondie</i>	
	Horizon B <sub>1</sub> « Micropeds »	Contenus dans les <i>Aggrotubules</i>	$\geq 100 \mu$	<i>Arrondie</i> ou <i>anfractueuse</i>	Faiblement anisotropes contenant des inclusions de quartz.

kaolinite et de sesquioxydes de fer. Selon toute vraisemblance, il s'agit de remontées biologiques, issues des horizons plus profonds.

Les cavités régulières sont, à l'opposé, fréquemment emboîtées les unes dans les autres : elles seraient plus anciennes.

Leur organisation semble résulter de celle des plus récentes par l'effet de remaniements dus à des actions physiques et/ou biologiques. Celles-ci provoqueraient à la fois l'arrondissement et le lissage des parois et la dissémination des nodules, de la matière organique et des petits grains de quartz dans un fond matriciel pédoturbe.

Il semble qu'il y ait alors dissociation des nodules : d'abord entourés d'un liséré blanchâtre, ils s'arrondissent tandis que leurs limites deviennent de plus en plus diffuses, puis passent à des halos globulaires qui se fondent dans le plasma jaune (il y aurait ainsi formation de plasma par dissociation des nodules).

L'enveloppe des cavités régulières qui ne sont plus fonctionnelles tend, par la suite à se fragmenter en arcs discontinus, laissant passage aux grains de quartz qui viennent combler les vides.

Ces arcs discontinus s'estompent à leur tour, puis disparaissent. Il semble que leur matériel plasmique soit entraîné par éluviation.

L'horizon de transition est surtout caractérisé par un accroissement rapide de l'importance relative du

plasma, coïncidant avec la présence d'argilanes discontinus.

*En plus de phénomènes d'éluviation qui tendent à s'atténuer avec la profondeur, il se produit donc, à ce niveau, une accumulation d'argile d'abord discrète puis accentuée.*

La faible orientation des argilanes et leur manque de limpidité témoignent de la faible distance de transport. Il ne peut s'agir, en fait, que de l'argile entraînée à partir des horizons humifères, celle-là même qui provient de la dissociation des remontées biologiques.

L'horizon B<sub>1</sub> est, plus encore, marqué par l'accroissement de l'importance relative du plasma qui prend une place de plus en plus importante par rapport au squelette et aux vides. Mais un autre mécanisme vient donner à cet horizon le caractère qui lui est propre et ce mécanisme est, lui aussi d'origine biologique (action de la faune).

*La formation d'aggrotubules n'a pas seulement pour conséquence de créer une porosité importante, dans un matériau devenu très compact, suite aux effets des phénomènes d'éluviation ; elle semble aussi exercer une action importante sur l'immobilisation relative de l'argile, en créant de petits agrégats ou micropeds, résistants aux traitements de dispersion usuels.*

L'action de la faune sur l'immobilisation relative de l'argile dans les micropeds pourrait être directe (par ingestion et transformation du matériau, il s'agi-

rait de « Fecal pellets ») ou indirecte (par transformation des conditions d'oxydoréduction au contact des pores).

Quoi qu'il en soit, la construction des aggotubules implique, là encore une action de transport des matériaux au sein du profil.

TABLEAU 2

Mécanismes envisagés des déplacements, accumulations et organisations de l'argile

Horizons profondeur	Mécanismes				
	de nature physico-chimique		d'origine biologique		
	Déplacements par des actions physico-chimiques (Lessivage)		Libération ou immobilisation de l'argile	Réorganisation mécanique	Déplacement par des actions biologiques
0 cm					
A	Eluviation	Lessivage de l'argile dispersable	Dissociation des nodules argile ▼ dispersable	Dissémination des nodules par pédoturbation	Remontées biologiques pédotubules
18 cm		↓			
A B	Eluviation + illuviation	Transit de l'argile (argilanes)	Dissociation des nodules Argile ▼ dispersable	Dissémination des nodules par pédoturbation	Remontée sans accumulation (chenaux)
32 cm		↓			
B <sub>1</sub>	Illuviation	Accumulation d'argile dispersable	Immobilisation de l'argile et formation de micropeds	→ Pédoturbation	Formation d'aggrotubules
75 cm		⋮			⋮

Nous avons tenté de schématiser, sur le tableau 2, les actions de tous les mécanismes qui interviendraient, soit sur le transport, soit sur la transformation des matériaux dans les horizons superficiels du sol.

Les transports de matériaux s'effectueraient sous forme dissociée (phénomènes d'éluviation par descensum), ou sous forme pseudoparticulaire (actions de transport et remontée biologique).

Le passage d'une forme à l'autre serait possible dans les deux sens, sous la dépendance des conditions de milieu (biologiques et physico-chimiques).

Le phénomène d'appauvrissement serait, en fait, la résultante de toutes ces actions.

Dans ces quelques profils, observés sous végétation forestière, aucun indice ne met en évidence l'action d'un transport latéral par les eaux superficielles. Rappelons cependant que si le ruissellement reste très limité sous végétation forestière — (il est inférieur à 1 % de la pluviométrie selon C. CHARREAU, 1970), il augmente cependant, dans de très fortes proportions

lorsque l'on passe à un sol cultivé (21 %). Il se pourrait donc que le mécanisme d'appauvrissement prenne une forme toute différente lors de la mise en culture.

CONCLUSION

Les mécanismes de différenciation du profil, que nous avons évoqués, ne mettent en œuvre aucune transformation minéralogique des constituants. Portant uniquement sur l'organisation et sur l'état d'association des matériaux, ils aboutissent cependant à une différenciation importante du profil pédologique.

L'étude micromorphologique met en évidence l'influence déterminante des facteurs biologiques sur l'organisation des horizons de l'apexsol. Or ces facteurs sont très dépendants de l'état de la couverture végétale. Il est donc normal que toute déforestation

perturbe fortement la dynamique évolutive actuelle de ces sols (1).

Les autres mécanismes déterminants de l'évolution de ces sols (il s'agit des processus d'éluviation et d'illuviation) sont dépendants de l'état d'association des particules. Celui-ci est réglé par l'aptitude propre aux matériaux constitués principalement de kaolinite et de sesquioxydes de fer, à passer d'une forme non dispersable (immobilisée) à une forme dispersable, ou inversement. Nous pensons que cette aptitude résulte des possibilités de blocage (ou de déblocage) de certaines charges de kaolinite par des cations ferriques hydroxydés non échangeables dans le sens classique du terme, mais susceptibles d'être déplacés par des effets de légère complexation ou de réduction.

De tels mécanismes sont étroitement dépendants des facteurs biologiques dans les horizons de l'apexsol (formation et évolution des nodules et des micropeds). Leur influence n'est cependant pas limitée aux matériaux atteints directement par l'activité de la faune et de la flore ; elle se généralise en effet à l'ensemble du profil pédologique sur une profondeur qui peut dépasser 10 m.

REMERCIEMENTS : L'auteur adresse ses remerciements à M. G. STOOPS (Institut de géologie de Gand) et à M. G. BOCQUIER (Centre ORSTOM de Yaoundé) pour les conseils qu'ils ont bien voulu lui donner.

#### BIBLIOGRAPHIE

- BREWER (R.), 1964. — Fabric and mineral analysis of soils. J. WILEY and Sons, New York, London, Sidney, 470 p.
- CHARREAU (C.), NICOU (R.), 1971. — L'amélioration du profil cultural dans les sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche Ouest-africaine et ses incidences agronomiques. *Agron. trop.*, vol. n° 2, pp. 209-255, n° 5 pp. 565-631, n° 9 pp. 903-978 et n° 11 pp. 1184-1247.
- CHATELIN (Y.), MARTIN (D.), 1972. — Recherche d'une terminologie typologique applicable aux sols ferrallitiques. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. X, n° 1, pp. 25-43.
- CHAUVEL (A.), PEDRO (G.), 1967. — Considération sur l'analyse granulométrique et le problème de la détermination de la constitution élémentaire de certains sols tropicaux ; nécessité et limites de la deferrification. *C.R. Acad. Sci.*, t. 264, pp. 2089-2092.
- CHAUVEL (A.), FAUCK (R.), 1969. — Sur la mise en évidence et la caractérisation d'un horizon B, dit « de comportement » dans les sols de Casamance (Sénégal). *C.R. Acad. Sci.*, t. 269, pp. 2080-2083.
- CHAUVEL (A.), 1972. — Contribution des études granulométriques et microscopiques à l'étude des matériaux pédologiques. ORSTOM, Bull. liaison Thème A. pp. 43-64, *multigr.*
- COINTEPAS (J.P.), 1960. — Bilan des études chimiques et pédologiques entreprises à la station expérimentale de Séfa (Sénégal). Station expérimentale de Séfa, 107 p. *multigr.*
- FAUCK (R.), 1971. — Contribution à l'étude des sols des régions tropicales : les sols rouges sur sables et sur grès d'Afrique occidentale. Thèse Sci. Strasbourg. Centre ORSTOM, Dakar, 377 p. *multigr.*
- MAIGNIEN (R.), 1962. — Le passage des sols ferrugineux tropicaux aux sols ferrallitiques dans les régions sud-ouest du Sénégal. *Sols africains*, vol. VI, n° 2-3, pp. 113-172.
- TOBIAS (C.), 1968. — Contribution à l'étude du passage des sols beiges aux sols rouges : étude d'une toposéquence dans la région de Séfa (Sénégal, Casamance). ORSTOM, Dakar-Hann, 113 p. *multigr.*

(1) L'étude de l'influence de la déforestation sur la dynamique actuelle de ces sols par les mêmes méthodes est actuellement à l'étude en collaboration avec P. SIBAND, pédologue IRAT, sur une séquence de sols dont la mise en culture est échelonnée sur 90 ans.