

LA STABILITE ET LA TRANSFORMATION DE LA MI -
CROSTRUCTURE DES SOLS ROUGES FERRA
LLITTIQUES DE CASAMANCE (SENEGAL)

ANALYSE MICROSCOPIQUE ET DONNEES
EXPERIMENTALES

(1) (2) (3)
Armand CHAUVEL, Gérard BOCQUIER, Georges PEDRO

INTRODUCTION

Sur les bas plateaux de Casamance (Senegal) cons-
titues par les gres argileux du "Continental terminal" com-
poses uniformement de quartz, de kaolinite et d'hydrates
ferriques, et sous un climat tropical a saisons contrastees
deux types de sols sont etroitement associes: les sols "rou-
ges" de type ferrallitique et les sols beiges" apparentes
aux sols ferrugineux tropicaux lessives (R. MAIGNIEN,
1961).

Leur distribution n'est pas quelconque. De nom -
breux travaux cartographiques cites par A. CHAUVEL ,
(1976) montrent l'existence de distributions ordonnees de
ces sols, aussi bien à l'echelle regionale qu'a l'echelle
paysagique:

- latitudinalement les sols rouges dominent en effet
dans les regions meridionales plus humides, tandis que
l'estension des sols beiges est croissante vers le nord.

- A l'echelle des paysages de Moyenne Casamance,
les sols rouges occupent les reliefs convexes en bordure

-
- : A.C. (1) ORSTOM, Institut de Geosciences - Université
de São Paulo - CP 20.899 SAO PAULO - Brésil
- : G.B. (2) Université de Paris VII, Département des Scien-
ces de la Terre - 2, Place Jussieu - 75221 PARIS
CEDEX 05.
- : G.P. (3) INRA - Laboratoire des Sols - C. N. R. A. 78000
VERSAILLES (France).

STABILITE ET TRANSFORMATION DE LA MICROSTRUCTURE

des plateaux, alors que les sols beiges se developpent principalement au centre des memes plateaux.

Apparemment le contact entre les deux types de sols est relativement rapide et tranche, comme lorsque l'on a affaire a deux pedogeneses independantes. En realite, un examen detaille montre que le passage de l'un à l'autre se fait toujours par l'intermediaire d'une bande étroite, d'environ deux cents metres de large, au sein de laquelle les caracteres morphologiques se modifient d'une maniere progressive et continue depuis le sol rouge jusqu'a au sol beige. Ces sols, qui ont ete denommes "sols de transition" ont fait recemment l'objet d'une etude approfondie qui a permis de montrer que la differenciation des sols beiges resultait de la transformation in situ de sols rouges, par suite de modifications survenues dans les conditions pedohydriques (A. CHAUVEL, 1976).

Le but de ce travail est de montrer comment l'association de donnees microscopiques et de donnees experimentales permet d'analyser cette transformation, et de preciser qu'elle consiste essentiellement en une suite de modifications, qui ne concernent que l'assemblage des trois constituants deja presents dans le gres argileux originel.

1- L'ANALYSE MICROSCOPIQUE DES ORGANISATIONS ET DE LEUR TRANSFORMATION,

1.1 - La microstructure des sols rouges ferrallitiques

L'analyse microscopique revele d'abord que l'homogeneite de couleur et de structure fine, qui caracterise sur plusieurs metres d'epaisseur les horizons B₂ et B₃ des sols rouges (de 0,80 a 5 metres environ), correspond a une microorganisation particuliere dominante, representee par la photographie n°1.

A la lumière des études faites sur d'autres sols ferrallitiques (KUBIENA, 1954; LARUELLE, 1956; BEAUDOU, 1972), il semble que cette structure soit résiduelle et d'origine glebulaire. Ces travaux ont en effet mis en évidence, dans certains horizons de ces sols, la concentration (et/ou la reorganisation) des constituants du plasma (kaolinite et hydrates ferriques) au sein d'un fond matriciel clair et anisotrope, sous forme de très petits amas (100μ), plus rouges et plus sombres, qu'il convient alors d'appeler micronodules. Là où le fond matriciel tend à disparaître, ces derniers, accolés les uns aux autres, forment alors une microstructure particulière, dénommée "structure micronodulaire continue de premier ordre". Or c'est précisément cette disparition du fond matriciel qui marque dans les sols rouges de Casamance, le passage de l'horizon BC à l'horizon B₃.

Les micronodules sont caractérisés par l'isotropie d'un abondant plasma rouge, qui englobe des grains de quartz. On distingue cependant quelques domaines faiblement orientés au sein du plasma et surtout de fréquentes séparations plasmiques sous forme de fines liserées d'argile jaune orientée, à la périphérie des micronodules (photographie n° 1).

L'assemblage continu de ces micronodules définit un réseau de nombreux vides communicants entre eux, dont les dimensions sont de l'ordre de 2 à 100 microns. Ces espaces intermicronodulaires sont localement occupés par des ferriargilanes rouges, faiblement orientés, présentant des limites nettes ou diffuses avec les domaines anisotropes, bien visibles sur la photographie n° 2. De tels cutanes résultent d'une reorganisation localisée, des particules du plasma, et éventuellement d'un faible déplacement de celles-ci. Mais cette reorganisation cutanique apparaît elle-même réversible, car les cutanes peuvent être réintégrés à la microstructure nodulaire, qui

apparaît ainsi comme une "charpente" remarquablement stable sur plusieurs mètres d'épaisseur.

C'est seulement dans la partie superficielle du profil (de 0,80 mètre à la surface: horizons B1, AB, et A) que cette microstructure se disloque et s'effondre. Les micronodules sont alors disséminés dans un fond matriciel, ou ils sont progressivement intégrés (photographie n° 3). Dans ce nouveau fond matriciel, apparaissent des séparations plasmiques, qui sont les indices probables des pressions et tensions engendrées par les alternances de gonflement et de retrait, tandis que le squelette quartzéux se dissocie du plasma, et devient prépondérant dans les horizons superficiels.

Ainsi, la microstructure des sols rouges ferrallitiques de Casamance se définit elle-même comme une "charpente" d'origine glebulaire, formée de micronodules, constitués eux-mêmes d'un abondant plasma argilo-ferrugineux isotrope, qui englobe les grains de quartz du squelette. La remarquable stabilité de cette structure n'est mise en défaut que dans les horizons supérieurs, où s'opère une disjonction entre le squelette et le plasma.

1.2 - Les transformations structurales dans les sols de transition

Dans les toposequences où sont étroitement associés les sols rouges ferrallitiques aux sols beiges ferrugineux tropicaux par l'intermédiaire de sols de transition, l'analyse microscopique montre une transformation progressive de la microstructure nodulaire, en suivant les variations latérales de l'organisation dans les sols de transition, puis dans les sols beiges.

À la base des profils des sols de transition, on trouve une structure micronodulaire analogue à celle des sols rouges, mais celle-ci présente alors deux évolutions principales de bas en haut des profils:

Une transformation des micronodules: Ils deviennent plus contrastés, de formes plus découpées (photographie n° 4), et ils sont associés à un fond matriciel décoloré ou à des ferriargilanes zones. L'opacification des micronodules se réalise plus particulièrement en relation avec une évolution des ferriargilanes, qui serait comparable à celle décrite par STOOPS (1968) et BOCQUIER et al (1972). Ces ferriargilanes présentent en effet, non seulement des interpénétrations et des limites diffuses avec les micronodules (photographie n° 5), qui indiquent leur formation en place par reorientation, mais également une zonation correspondant à une ségrégation entre les deux constituants du plasma: le fer au contact des micronodules et la kaolinite en bordure du vide. Seules les zones décolorées kaolinitiques semblent être par la suite mobilisées, tandis que la structure micronodulaire s'opacifie, ce qui suggère son impregnation à partir des zones ferrugineuses.

- Une nodulation secondaire: Les ferriargilanes plus abondants vers le sommet des horizons B, forment par des concentrations localisées au sein de la microstructure nodulaire de premier ordre des volumes de dimensions centimétriques, qui sont plus denses, isotropes et opacifiés. Ces assemblages nodulaires de second ordre apparaissent déjà dans les sols rouges. Mais, dans les profils des sols de transition, ils se développent et se différencient progressivement de bas en haut par rapport à un fond matriciel plus clair et brassé par la faune (photographie n° 6).

Les contrastes entre, ces nodules et le fond matriciel s'accroissent principalement par l'intense activité de la faune. Les termites, en effet, limitent leur activité au fond matriciel, et participent au sein de celui-ci à la dissémination et à la dissociation progressive des micronodules. Les discontinuités, qui s'affirment alors entre no

STABILITE ET TRANSFORMATION DE LA MICROSTRUCTURE

dules et matrice (photographie n° 7), sont elles-mêmes le siège de nouvelles transformations, dues:

- a des comportements mécaniques différents, qui provoquent la formation de fissures périphériques ou intranodulaires;
- a l'évolution de ces fissures, où se déposent des ferriargilanes;
- a des évolutions différentes du cortex qui, selon la localisation des nodules, correspondent;
 - . soit à une impregnation par le fer de la périphérie du nodule qui s'opacifie,
 - . soit, au contraire, à une décoloration progressive.

Ainsi, se réalise, dans les horizons B des sols de transition et à l'échelle centimétrique, une transformation de la structure micronodulaire de premier ordre, qui était une structure continue en une structure nodulaire de second ordre, qui est discontinue.

De plus, dans les horizons de surface et des horizons B1 (à 0,80 m), on observe une évolution de la structure plasmique dans le fond matriciel. Des orientations se développent sous forme de séparations plasmiques disposées en îlots et en taches (photographie n° 8). On les attribue aux effets des contraintes engendrées par les alternances d'humectation et de dessiccation, qui s'affirment vers la surface du sol. On observe également dans ces horizons des micronodules qui sont, soit disséminés et en voie d'intégration au fond matriciel, soit concentrés dans des chenaux biologiques. Divers phénomènes de pédoturbation (JONGERIUS, 1970) dominent donc à la partie supérieure du profil, et ils se traduisent macroscopiquement par le développement de structures plus compactes.

Ainsi, dans les sols de transition, les principales transformations qui affectent l'organisation micronodulaire

re primitive, relient:

- de la segregation des constituants du plasma: fer et kaolinite;
- et entre ces constituants, de l'etablissement de nouvelles liaisons interparticulaires, qui apparaissent:
 - . renforcees dans les micronodules et les volumes nodulaires, lors de leur enrichissement en fer,
 - . affaiblies lors de la deferrugination du fond matriciel, ou se concentre l'activite de la faune et ou se mobilise l'argile.

1.3 - Les evolutions ulterieures et la differenciation dans les sols beiges

Au sein des sols beiges, les structures nodulaires de second ordre decrites dans les sols de transition, se retrouvent; mais a leur tour, elles se transforment de trois manieres differentes, depuis la base du profil :

- Dans l'horizon B3, les volumes nodulaires incompletement individualises se degradent en un fond matriciel, qui semble les envahir par taches (photographie n° 9) :
 - . en isolant de petits volumes isotropes , rouges, plus ou moins opaques, qui peuvent etre consideres comme des micronodules "reliques";
 - . et en acquerant ulterieurement par faune pedoturbation (JONGERIUS, 1970) les caracteres du fond matriciel internodulaire.
- Dans l'horizon B22 (photographie n° 10) les volumes nodulaires, progressivement estompes a partir de leur peripherie, disparaissent totalement en redonnant un fond matriciel.
- En revanche, dans l'horizon B21, les volumes

STABILITE ET TRANSFORMATION DE LA MICROSTRUCTURE

nodulaires déjà individualisées, s'opacifient à leur périphérie, ce qui contribue à leur donner un début d'organisation concentrique et donc une morphologie de concretions.

En outre, dans ce fond matriciel beige de plus en plus abondant, on observe des redistributions et des dépôts d'argile, manifestés par la présence de lacunes et d'argilanes.

Enfin, dans la partie la plus superficielle du sol "beige" on note :

- une accumulation relative du squelette quartzueux dissocié du plasma. Les grains de quartz très corrodés par dissolution, sont semblables à ceux contenus dans les concrétions, mais leurs incrustations hématitiques disparaissent (photographie n° 11), et dans les horizons superficiels, ils se morcellent en grains plus petits (photographie n° 12).

- La persistance de micronodules "reliques" qui sont les derniers témoins de la structure micronodulaire des sols rouges, et qui sont noyées dans un fond matriciel très clair, ne présentant aucune organisation particulière.

Ainsi, le sol "beige" dans lequel s'accuse une différenciation du profil en horizons, est caractérisé par deux ensembles d'organisations, qui proviennent de la transformation de la microstructure des sols rouges :

- les unes relictuelles et qui tendent à disparaître, ne laissent subsister que des micronodules "reliques" et des concrétions;

- les autres issues d'une nouvelle évolution qui intervient dans la masse de plus continue du fond matriciel : dissociation du fer et de la kaolinite et redistribution localisée de ces constituants selon les conditions d'oxydo-réduction et les flux hydriques.

1.4 - Synthese des donnees microscopiques

Les sols rouges ferrallitiques de Casamance se caractérisent donc microscopiquement par une dominance des concentrations plasmiques. Celles-ci se présentent sous la forme d'un assemblage de micronodules, qui sont eux-mêmes constitués par un assemblage isotrope de kaolinite et de fer en proportions sensiblement constantes, ce qui semble leur conférer une grande stabilité.

En revanche, les sols beiges ferrugineux tropicaux lessives présentent une dominance d'un fond matriciel, où subsistent des micronodules et des concrétions reliques. Le plasma, à kaolinite et à teneurs variables en fer, est alors anisotrope, il est susceptible d'être dispersé et de migrer.

L'analyse microscopique a mis en évidence la succession des transformations qui conduisent progressivement de la structure micronodulaire des sols rouges au fond matriciel des sols beiges. Et ces transformations ne concernent pas la nature minéralogique des constituants, mais plutôt l'assemblage de ceux-ci, dont les principales modifications observées interviennent à deux niveaux :

- Au niveau du plasma, on peut distinguer trois états d'association des cristallites de kaolinite avec les hydrates ferriques :

- dans les micronodules isotropes, l'argile est immobilisée, masquée par le fer.
- dans les nodules et concrétions opacifiées, l'argile est cimentée. Des micronodules aux concrétions, il s'agirait donc d'une évolution glebulaire par concentration localisée du fer.
- en revanche, dans les cutanées zones et surtout dans le fond matriciel anisotrope du sol beige, l'argile redevient libre, par ségrégation et départ du fer.

STABILITE ET TRANSFORMATION DE LA MICROSTRUCTURE

- Les relations entre l'évolution glebulaire et l'évolution du fond matriciel sont schématisées dans la figure 1.

- Ces modifications des assemblages plasmiques interviennent également au niveau des relations entre le plasma et le squelette quartzéux :

- . En effet, dans les micronodules les quartz sont inclus et ne jouent qu'un rôle d'encombrement dans la "charpente" micronodulaire.
- . Dans les nodules et les concrétions, les quartz sont sequestres. Ils évoluent en se divisant par suite de l'augmentation des teneurs en oxydes de fer.
- . Dans l'argile libre du fond matriciel du sol beige, les quartz sont dispersés. Ils assurent alors une fonction squelette, tandis qu'ils se fragmentent et se disséminent par suite de la dissolution de leurs impregnations ferriques.

Des sols rouges aux sols beiges, les modifications de l'assemblage plasmique s'accompagnent donc d'une dissociation du plasma et du squelette.

2 - DONNEES EXPERIMENTALES CONCERNANT LA TRANSFORMATION DE LA MICROSTRUCTURE DES SOLS ROUGES FERRALITIQUES

Ce sont les modifications de l'assemblage plasmique, et en particulier les différents états d'association des constituants, qui ont fait l'objet de travaux expérimentaux de deux sortes:

- des tests de caractérisation et de comportement des assemblages plasmiques;
- des expérimentations in vitro pour reproduire certaines transformations des assemblages.

2. 1. Caractérisation et comportement des différents assemblages plasmiques

Il s'agit tout d'abord de distinguer analytiquement les divers assemblages plasmiques en étudiant leurs caractéristiques physicochimiques et en testant leur réactivité hydrique.

- Rôle des conditions physicochimiques : les différents degrés de mobilisation de l'argile.

La méthode choisie consiste à utiliser plusieurs techniques appropriées de dispersion granulométrique. Il ne s'agit pas de déterminer la composition granulométrique au sens strict du terme, mais d'identifier et d'évaluer les différents assemblages plasmiques mis en évidence par l'analyse microscopique. Parmi l'ensemble des traitements expérimentés (CHAUVEL, 1976), trois d'entre eux se sont révélés plus intéressants : (tous les échantillons subissant au préalable une attaque à l'eau oxygénée obtenue par voie électrolytique, pH = 4).

- La première méthode consiste en un simple échange au KCL : elle extrait l'argile libre c'est à dire non incluse dans les microneodules, les nodules ou les concrétions.
- La deuxième, qui comporte un traitement déferrisant TAMM, disloque les microneodules et libère ainsi l'argile immobilisée masquée.
- Enfin, la troisième nécessite une déferrification JEFFRIES. Elle permet de re-

STABILITE ET TRANSFORMATION DE LA MICROSTRUCTURE

cuperer les argiles qui sont emprisonnees dans les nodules et dans les concretions cimentees par Fe_2O_3 : il s'agit de l'argile cimentee.

On parvient donc experimentalement a distinguer et a apprecier quantitativement trois degres de mobilisation de l'argile, qui correspondent aux trois types principaux d'assemblage plasmique. Appliquee aux differents sols de la toposequence, cette methode conduit aux diagrammes de la figure 2, qui permettent de suivre dans chaque profil et d'un profil a l'autre, les phenomenes de demicronodulation et denodulation, qui conduisent des sols rouges aux sols beiges.

- Rôle des conditions hydriques : les modifications du gonflement potentiel.

On a etudie ensuite, comment se comportaient vis a vis de l'eau les argiles libres et les argiles masquées du sol rouge; ces deux argiles etant tres peu differentes du point de vue de leurs teneurs en fer (tableau 1). A cet effet, on a procede a des extractions separees d'argile libre et d'argile masquée, mais sans utiliser la technique des ultrasons.

Après avoir fabrique des agregats experimentaux avec ces deux types d'argile (CHAUVÉL, 1976), on a determine leurs volumes apparents a l'etat sec (V_s) et a l'etat humide (V_h), pour tester ainsi leur reaction a l'humectation et a la dessiccation. Le parametre

$$\text{Gap} \frac{(V_h - V_s)}{(V_s)} \times 100 \text{ correspond a une estimation du}$$

gonflement potentiel. Les resultats sont consignés dans le tableau 1, en même temps que ceux obtenus avec de l'argile deferrisee (traitee TAMM) du sol rouge et de l'argile libre du sol beige.

	SOL ROUGE			SOL BEIGE
	Argile masquée	Argile déferrisée	Argile libre	Argile libre
V (sec)	0,741	0,667	0,655	0,681
(humide)	0,752	0,742	0,736	0,772
Gonflement potentiel (%)	1,5	11,2	12,4	13,4
Teneur en Fe ₂ O ₃ (%)	11,9	11,6	10,4	5,1

TABLEAU I

Gonflement potentiel et teneurs en fer
d'agregats experimentaux

Potential swelling and iron content of experimental aggregates

V designe le volume spécifique apparent

On constate ainsi:

- que les agregats fabriques avec l'argile masquee des micronodules, presentent un gonflement potentiel insignifiant alors que les agregats faits a partir d'argile libre gonflent d'une maniere analogue a ceux du sol beige.
- qu'apres une simple dissociation par voie mecanique (ultrasons), les argiles masquees, comme les argiles libres, peuvent se reagreger et reproduire des assemblages voisins de ceux dont elles proviennent, alors que

si on leur applique un traitement deferrisant (TAMM), elles perdent cette propriete definitivement. Notons toute fois (Tableau 1) que ce traitement n'affecte qu'une tres pe tite quantite de fer, probablement celle qui se trouve liee a la compensation des charges superficielles des particu les de kaolinite.

Tous se passe donc comme si, a partir d'un systeme fige au depart comme celui de la charpente micronodulai re stable et indeformable, la transformation resultait d'une reactivation des constituants argileux initialement mas ques, ce qui entraine ulterieurement d'autres types de modifications. Aussi est-ce pcur analyser les causes d'une telle evolution, qu'il a ete tente de reproduire experimen talement certaines de ces transformations.

2.2 - Transformations in vitro des assemblages de sols rouges : essais de micromorphologie ex perimentale.

A partir d'un echantillon de sol rouge, on a alors envisage l'effet exerce sur la structure micronodulaire par deux types de traitements:

- l'action de la dessiccation et de l'humectation a l'eau,
- l'action du reactif de TAMM.

L'echantillon temoin de structure micronodulaire (photographie n° 13) est microscopiquement semblable a celui precedemment decrit (photographie n° 1). Le seul fait de soumettre un tel echantillon de micronodules a une dessiccation poussee, puis a une humectation jusqu'a a sa saturation, provoque le developpement de ferriargilanes qui sont donc formes in situ par reorientation des particules argileuses des micronodules, sous l'action des contrain tes exercees par l'alterrance de conditions hydriques ex

tremes. (photographie n° 14).⁽¹⁾

Enfin le traitement de Tamm a pour effet de dissocier la plus grande partie du matériau micronodulaire, en ne laissant subsister que quelques ilots de micronodules dans un fond matriciel plus ou moins anisotrope (photographie n° 15). Une déferrisation ménagée permet donc de réaliser expérimentalement une demicondulation qui conduit elle-même à la formation d'un fond matriciel à tendance anisotrope. De plus, diverses mesures effectuées sur les échantillons traités, montrent que, dans le même temps, le gonflement apparent qui était insignifiant passe à 20, 3 % et la capacité d'échange augmente de 86% (4, 2 à 7, 8 meq/100 gr).

Dans ces conditions, si la destruction de la structure micronodulaire et l'apparition d'un matériau argileux compact et dense résultent essentiellement de l'action de contrainte hydriques extrêmes ("ultradessiccation")⁽²⁾ la libération véritable des argiles du plasma rouge serait due, au cours d'une seconde phase, à la "déferrisation" superficielle des constituants argileux.

- (1) Le fait que GREENE-KELLY et MACKNEY (1970) n'observent qu'un faible effet des alternances de dessiccation et d'humectation sur l'orientation de l'argile, s'explique probablement par l'absence de liaisons interparticulaires fortes et d'organisations plasmiques préexistantes dans le matériau soumis à l'expérimentation.
- (2) Il est remarquable de constater que par une démarche différente, à l'aide des mesures et observations faites sur l'espace poral et sur le régime hydrique saisonnier des sols ferrallitiques du Cameroun, HUMBEL (1976) aboutit à une conclusion convergente, attribuant à l'intervention de fortes dessiccations l'enfouissement irréversible des assemblages plasmiques qui constituent la charpente de ces sols, responsable d'une limitation de l'aération en saison des pluies.

3 - INTERPRETATION GENERALE CONCERNANT LES MODALITES DE LA DESTRUCTURATION DES SOLS ROUGES DANS LE MILIEU NATUREL

En associant alors les resultats de microscopie et d'experimentation, et en tenant compte de l'ensemble des donnees acquises sur les sols, tant au Cameroun qu'en moyenne Casamance (CHAUVEL, 1976), il devient possible de proposer un schema general d'interpretation.

En partant de la microstructure du sol rouge, on utilise tout d'abord des observations complementaires obtenues au microscope electronique a balayage sur la structure micronodulaire. L'analyse des assemblages a divers grossissements (jusqu'au 1/10 e de micron), conduit a la representation schematisee dans la figure 3, qui fait apparaitre deux sortes de porosite:

- Une porosite intermicronodulaire due a des vides de 2 a 100 microns de diametre, qui assure la circulation de la solution du sol et sa retention sous de faibles contraintes. Elle est maintenue par la charpente indeformable des micronodules, ce qui explique pourquoi l'eau se deplace dans ces profils a des vitesses elevees et sensiblement constantes (FUMBEL, 1976).

- Une porosite intramicronodulaire qui se situe au sein de l'assemblage plasmique isotrope. Les vides etant de tres petites dimensions (cryptovides de 0,1 micron), ils retiennent l'eau avec un tres forte energie, ce qui la rend indisponible pour les plantes et seulement susceptible d'être evaporee.

Cette porosite intramicronodulaire est assuree grace a la stabilite d'un assemblage tridimensionnel de cristallites de kaolinite. Mais lorsqu'interviennent des conditions extremes d'aridite dues a la penetration d'un air tres sec (et) ou a la destruction du couvert vegetal), il en resulte des contraintes physiques qui provoquent l'evacua

tion de l'eau contenue dans les cryptovides et la rupture des liaisons interparticulaires, en sorte que lorsqu'il y a ultérieurement rehumectation, celle-ci s'effectue ne cessairement dans des conditions différentes, provoquant la reorientation des particules (marquée par le développement des ferriargilanes).

Le phénomène s'auto-developpe ensuite, puisque de cette première modification des assemblages plasmiques, résulte une augmentation de la continuité du matériau et, par la même, de la conductivité hydraulique et des possibilités de dessiccation ultérieure.

La conséquence directe de la destruction de cette structure micronodulaire est la disjonction du squelette et du plasma. Ainsi augmentent la compacité et l'échancrure des horizons superficiels en voie de transformation avec mise en place d'un régime hydrique de plus en plus contraste; d'où le développement d'une sorte de "prehydro-morphie", qui provoque à son tour une déferrisation de l'argile rouge avec dissociation irréversible, cette fois des assemblages tridimensionnels. Enfin, la redistribution de ces matériaux libérés par la demicronodulation, aboutira à la différenciation des sols beiges.

En conclusions, la genèse des sols beiges différenciés de moyenne Casamance, ne résulte pas d'une évolution cristallochimique particulière, mais plutôt de la transformation structurale des sols rouges ferrallitiques qui leur sont associés, à la suite de changements d'ordre pédoclimatique. Cette transformation structurale consiste essentiellement en une série de modifications de l'assemblage des constituants d'origine, qui se produisent dans un ordre bien déterminé et qui affectent d'ailleurs successivement les relations "fer-argile", puis le type d'association "plasma-squelette".

Il apparaît ainsi que des transformations d'assemblage, lorsqu'elles sont aussi caractéristiques et consé

STABILITE ET TRANSFORMATION DE LA MICROSTRUCTURE

quentes que celles dont on vient de faire état ici, peuvent être considérées désormais, comme de véritables processus de la pédogenèse.

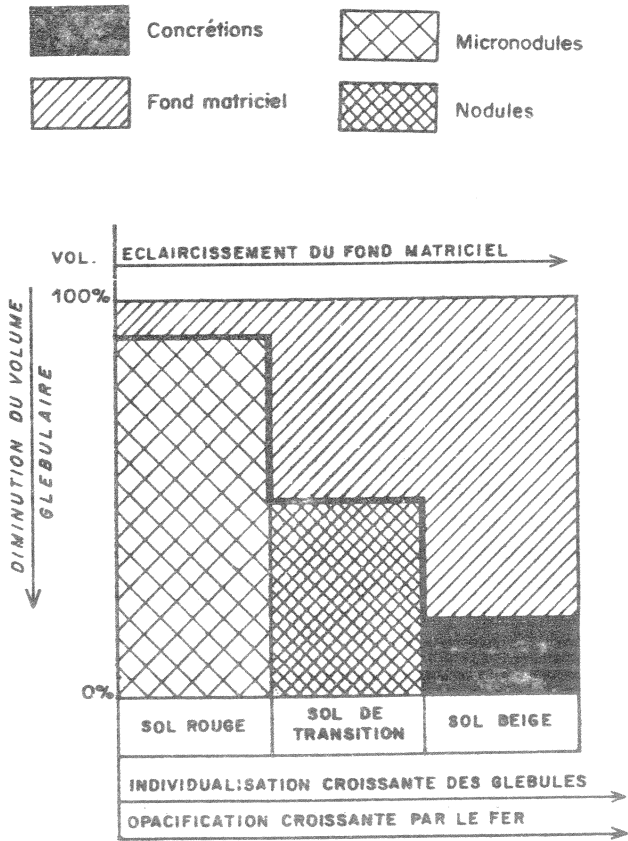


Fig. 1 - Schema general de l'evolution glebulaire

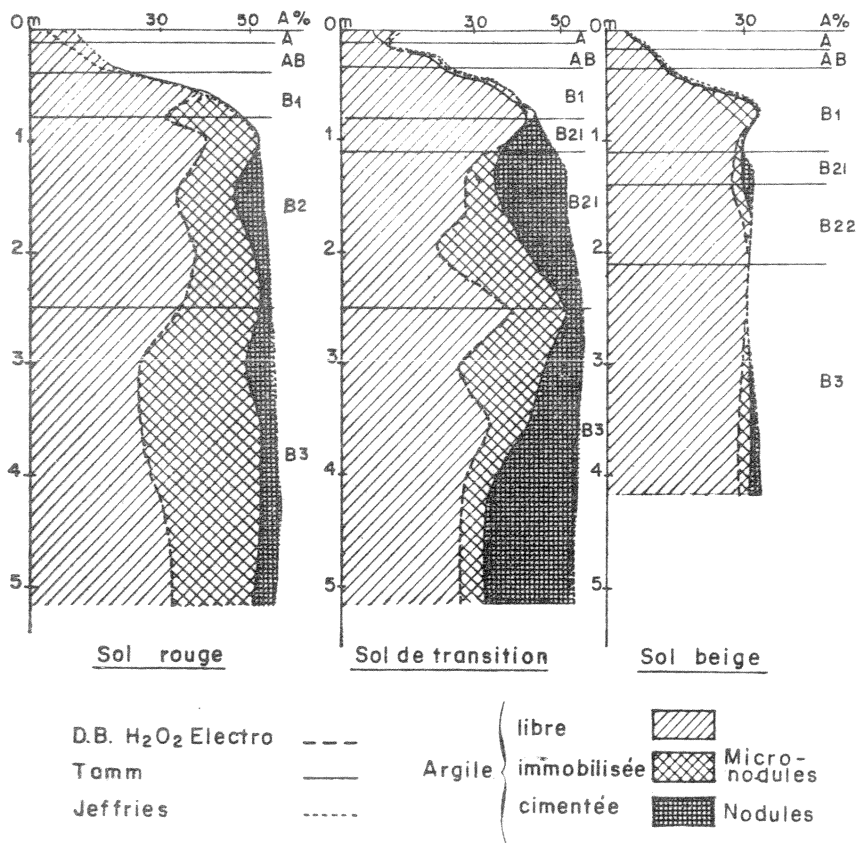


Fig. 2 - Repartition des 3 principaux états de l'argile dans les différents profils (estimation réalisée à l'aide de techniques appropriées d'analyse granulométrique).

STABILITE ET TRANSFORMATION DE LA MICROSTRUCTURE

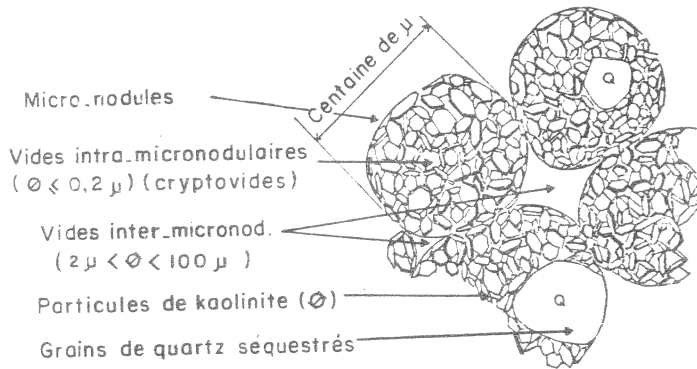


Fig. 3 - Représentation schématique de la structure micro-nodulaire.

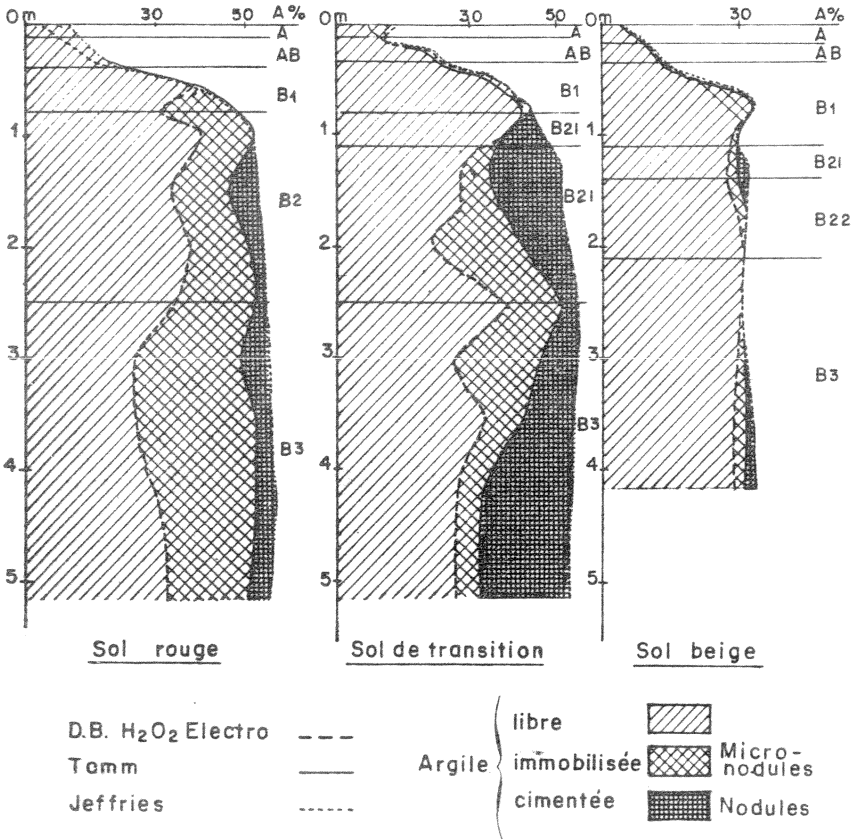


Fig. 2 - Répartition des 3 principaux états de l'argile dans les différents profils (estimation réalisée à l'aide de techniques appropriées d'analyse granulométrique).

STABILITE ET TRANSFORMATION DE LA MICROSTRUCTURE

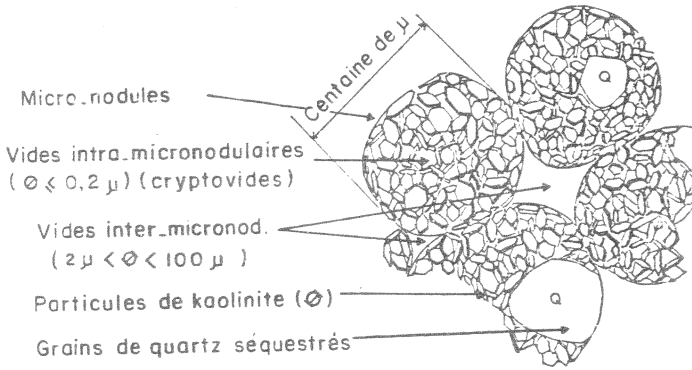
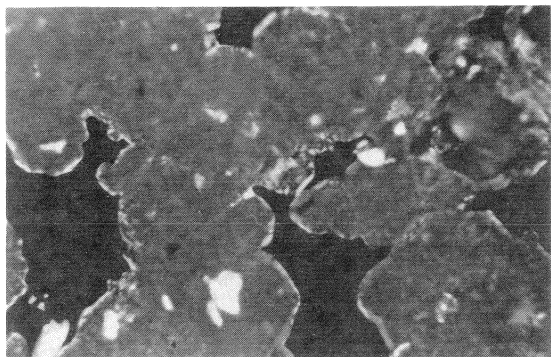
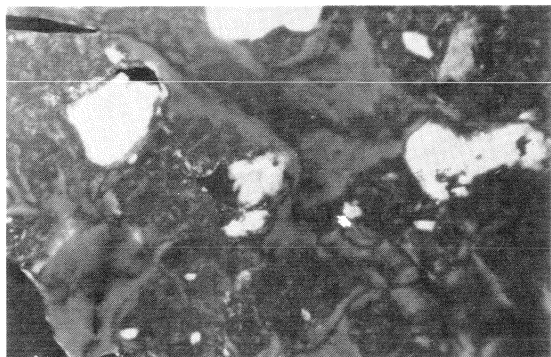


Fig. 3 - Representation schematique de la structure micro-nodulaire.



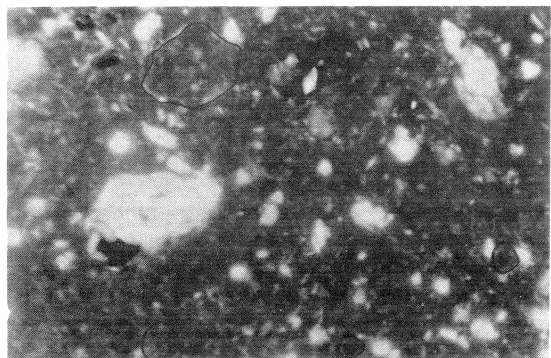
Photographie n°1 (Sol rouge)
B₂ et B₃
Structure micronodulaire continue de 1er ordre
plasma rouge isotrope
grains de quartz
liserés d'argile orientée
vides communicants

"Red" soil - Continuous micronodular first order structure
Isotopic plasma
Quartz grains
Oriented clays skins
Interconnected voids



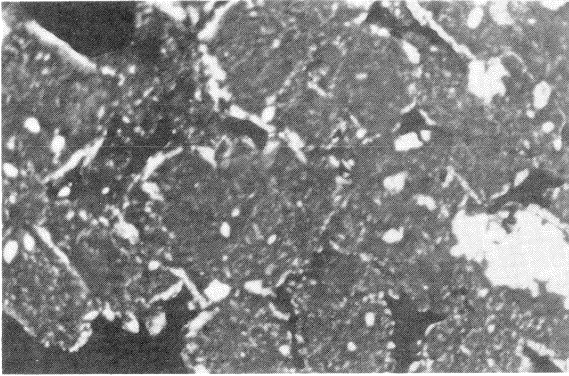
Photographie n°2 (Sol rouge)
B₂ et B₃
Ferriargilanes rouges faiblement orientés, homogènes, dans les espaces intermicronodulaires

"Red" soil - Red ferri-argillans, orientated, homogeneous, within the intermicronodular voids.



Photographie n°3 (Sol rouge)
B₁
Micronodules disséminés dans un fond matriciel, où ils sont progressivement intégrés.

"Red" soil - Micronodules disseminated in a matrix in which they are progressively incorporated.



Photographie n°4 (sol de transition B21)
Structure micronodulaire plus contrastée et découpée

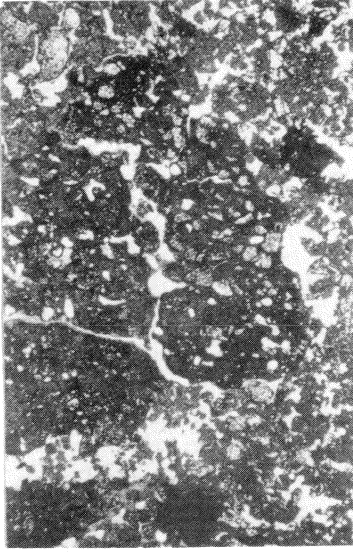
Transitional soil - Contrasted and carved micronodular structure.



Photographie n°5 (sol de transition B22)

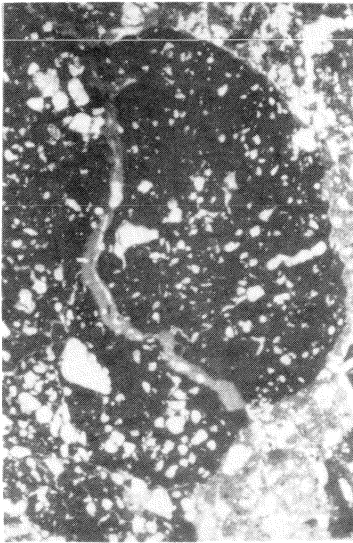
Interpénétration des argilanes dans la structure micronodulaire.

Transitional soil - Interpenetrated argillans in the micronodular structure.



Photographie n°6 (Sol de transition) B2
Différenciation de secteurs plus denses, isotropes, opacifiés dans un fond matriciel plus clair brassé par la faune.

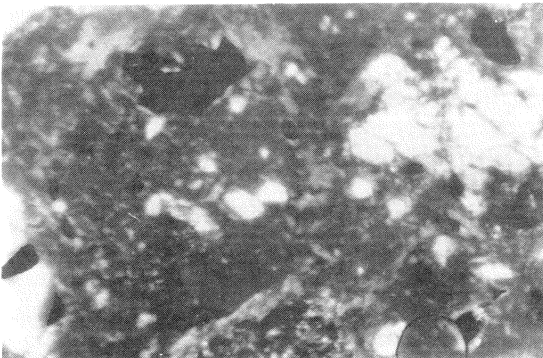
Transitional soil (B2 horizon). Differentiation of more dense, isotropic and opaque areas, in a more clear matrix disturbed by the fauna.



Photographie n°7 (Sol de transition B2)

Les transformations qui interviennent au niveau des discontinuités séparant la matrice des nodules provoquent la rectification des formes de ces derniers

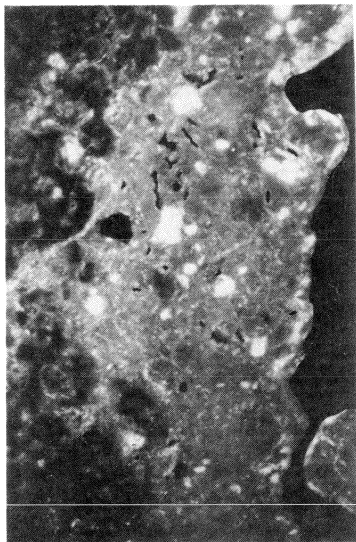
Transitional soil (B2 horizon) Rectified forms of nodules due to the transformations occurring at the discontinuities between the nodules and the matrix.



Photographie n°8 (sol de transition B1)

Séparations plasmiques disposées en taches et en îlots

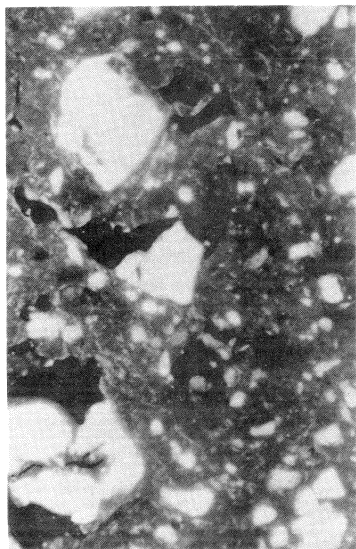
Transitional soil (B1 horizon)
Plasmic separations



Photographie n°9 (sol beige B3)

Taches blanches envahissant les nodules et isolant de petits volumes isotropes, rouges, plus ou moins opaques ou micronodules "reliques"

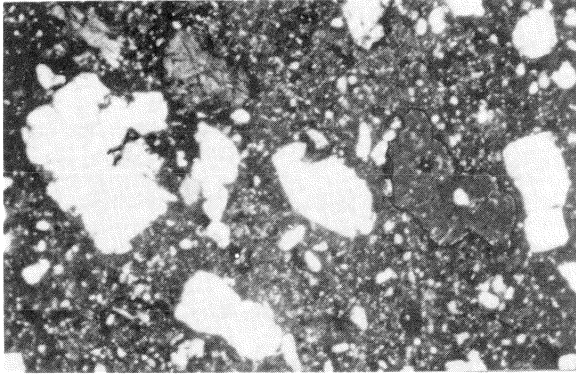
"Beige" soil (B3 horizon) White zones invading the nodules and isolating small isotropic and rather opaques volumes or "relict" micronodules



Photographie n°10 (Sol beige B22)

Nodules plus ou moins estompés, disparaissant totalement. lacunes et argilans indiquent un départ d'argile

"Beige" soil (B22 Horizon) - Nodules nearly shaded off with voids and argilans showing a loss of clay

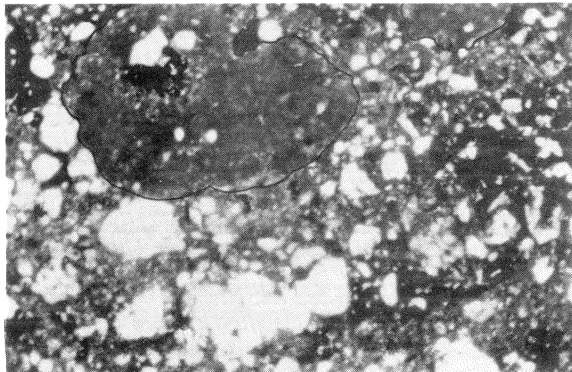


Photographie n°11 (Sol beige, B1)

Quartz corrodés
Micronodules "reliques"

"Beige" soil (B1 horizon)

Corroded quartz
Relict micromnodules

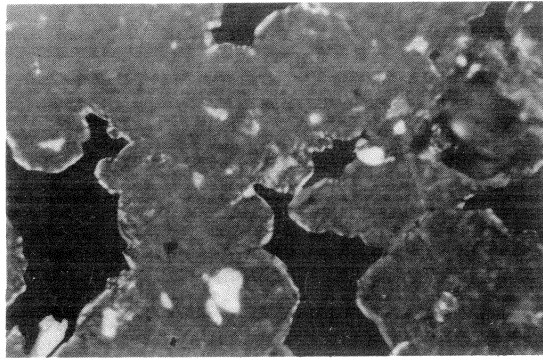


Photographie n°12 (sol beige -
sommet de B1)

Quartz morcelés
Micronodules "reliques"

"Beige" soil (top of B1 horizon)

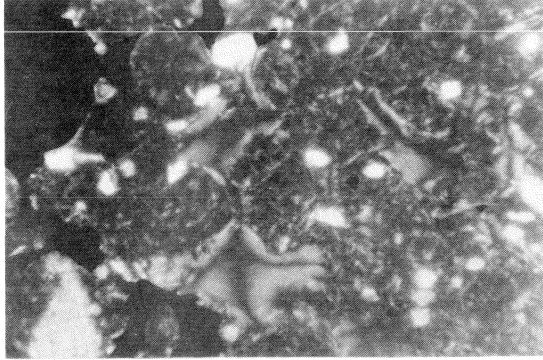
Crushed quartz
Relict micromnodules



Photographie n°13

*Echantillon témoin
non traité*

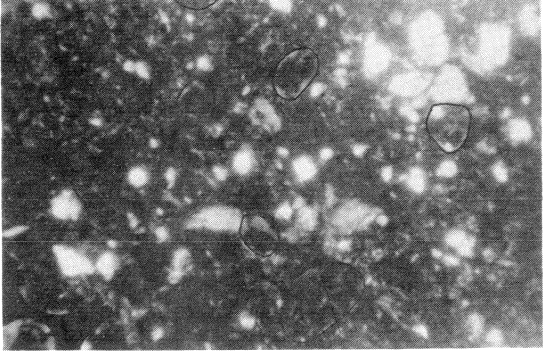
Natural sample with
no treatment



Photographie n°14

*Une dessiccation poussée
suivie par une saturation
par l'eau, provoque le dé-
veloppement de ferrisargilla-
nes formés "in situ"*

Ferris-argillans formed "in
situ" due to strong desicca-
tion, followed by water sa-
turation



Photographie n°15

*Le réaction de "TAMM" a pour
effet de dissocier la plus
grande partie du matériau,
ne laissant subsister que
quelques micronodules.*

Effect of "TAMM" solution : mos
t of the material were diss
ciated and only some micronodu
les subsisted

SUMMARY

The soils of the middle Casamance (a region of Senegal having a tropical climate with contrasting seasons) are developed on the low tablelands of the "Terminal Continental", and all these soils have a similar mineralogi - cal composition containing quartz, kaolinites and ferric - hydrates. Never the less, 2 very common soil types may be found side by side : "red" (ferrallitic) soils and "beige" soils which appear to be like the red-yellow podzolised tropical soils. The relative distribution of these soils in the landscape is not haphazard. The line of contact bet - between these 2 types is always made up of a band of "tran - sition soils" about 200 m in width, in which gradual and progressive modifications from one type to the other are discernable. The object of this publication is to show, by way of a detailed microscopic analysis coupled with a certain number of analytical and experimental studies, that the formation of these "beige" soils is mainly due to transformations which affect the state of the assemblage of the "red" (ferrallitic) soils as a result of modifica - tions in the soil-climatic regime.

The microscopic analysis began with a study of the microstructure of the "red" soils which are characteri - zed by a dominance of plasmic concentrations under the appearance of an assemblage of "micronodules" formed of kaolinite and iron hydrates. The microscopic analysis also shows up the succession of transformations first evident in the transition soils (breakdown of primary mi - cronodules which follows from the clay-iron dissociation) is accompanied by a secondary nodulation and by loss of iron from the matrix. The same process occurs in the "beige" soils and is characterized by an extension of the iron-depleted and relatively mobile s-matrix in which fi - nally, one realises a dissociation between skeleton and plasma.

STABILITE ET TRANSFORMATION DE LA MICROSTRUCTURE

The experimental study of this phenomenon permits us to reproduce the modifications observed under natural conditions. The emphasis is on the role which cycles of drying and wetting play as well as on the importance of the presence of clay "hidden" or "free" and these effects relative to characteristics of the piasma.

Finally, the analytical studies show that the evolution of the microscopic organisation is mainly due to the liberation of clay. Indeed, under the influence of modifications in the soil-climatic regimes (e. g. intensive dehydration) and in the physico-chemical conditions (loss of superficial ferric cations), the clays which were initially "hidden" and therefore inert, become mobile and reactive in relation to "swelling ability".

From these observations, it follows that the genesis and the differentiation of the "beige" soils of the middle Casamance region are not due to a particular geochemical evolution but, principally, to succession of transformations which change the assemblage observed in "red" soils following on from the pedo-climatic modifications. Therefore, when the transformations of the assemblage are in the soils as characteristic as those which are described here, they may be considered as real process of pedogenesis.

BIBLIOGRAPHIE

- BEAUDOU, A. G. (1972) - Expression micromorphologique de la microagregation et de l'illuviation dans certains horizons de sols ferrallitiques centrafricains et dans les sols hydromorphes associés. Cah. ORSTOM, ser. Pedcl., X, 4, p. 357-371.
- BOCQUIER, G. et NALOVIC, L. (1972) - Utilisation de la microscopie électronique en pédologie.

- Cah. ORSTOM, serv. Pedol., X, 4, p. 411-434.
- BREWER, R. (1972) - The basis of interpretation of soil micromorphological data. *Geoderma*, 8, p. 81-94.
- CHAUVEL, A. (1976) - Recherches sur la transformation des sols ferrallitiques dans la zone tropicale a saisons contrastees. Evolution et reorganisation des sols rouges de moyenne Casamance. These Strasbourg 495 p. Coll. Trav. Doc. ORSTOM, n° 62.
- GREEN-KELLY et MACKNEY, D. (1970) - Preferred orientation of clay in soils: the effect of drying and wetting. Micromorphological techniques and applications. Soil Survey - Harpenden - Angleterre.
- HUMBEL, F. (1976) - L'espace poral des sols ferrallitiques du Cameroun. Caracteristiques et comportements en relation avec les regimes hydriques et les bioclimats. These Paris 306 p. Coll. Trav. Doc. ORSTOM, n° 54.
- JONGERIUS, A. (1970) - Some morphological aspects of regrouping phenomena in dutch soils. *Geoderma*, 4, p. 311-331.
- KUBIENA, W.L. (1954) - Micromorphology of laterite formation in rio Muni (Spanish Guinea) - Int. Congr. Soil. Sci. Trans. S Th (Leopoldville Belg. Congo), p. 77-84.
- LARUELLE, J. (1956) - Quelques aspects de la microstructure des sols du nord-est du Congo Belge. *Pedologie*, VI, p. 38-57.
- MAIGNIEN, R. (1961) - Le passage des sols ferrugineux aux sols ferrallitiques dans les regions sud-ouest du Senegal (Fepublique du Senegal) - *Sols Africains*, VI, 2 et 3, p. 113-228.
- STOOPS, G. (1968) - Micromorphology of some characteristic soils of the lower Congo (Kinshasa). *Pedologie*, 18, p. 110-149.