

# Genèse de sols beiges (ferrugineux tropicaux lessivés) par transformation des sols rouges (ferrallitiques) de Casamance (Sénégal)

## Modalités de leur propagation

Armand CHAUVEL\* et Georges PEDRO\*\*

\* ORSTOM, Section de Pédologie, Université de São Paulo,  
Caixa Postal 20899 São Paulo S.P. Brésil.

\*\* INRA, Station de Science du Sol  
CNRA 78000 Versailles (France).

### RÉSUMÉ

Sur le Continental terminal de l'Ouest africain, les sols « rouges ferrallitiques » profonds occupent de très vastes surfaces au sud du 14° parallèle, sous des climats humides. Leurs caractéristiques sont celles des « oxisols » définis dans la « Soil Taxonomy » (U.S.D.A.). Leurs limites septentrionales, souvent nettes, marquent le passage à des sols « beiges ferrugineux tropicaux lessivés », de constitution minéralogique comparable, mais différents par leurs caractéristiques morphologiques et leur comportement vis-à-vis de l'eau. Il apparaît que ces limites ne correspondent pas généralement à des contacts lithologiques ou géomorphologiques, mais qu'elles sont toujours localisées dans la zone de déséquilibre bioclimatique de ces régions intertropicales, où alternent des périodes très sèches et très humides. Une observation détaillée montre qu'elles se présentent alors sous la forme d'une étroite bande de sols « de transition » (0,1 à 10 km).

Ce passage est plus précisément étudié ici sur les grès argileux du « Continental terminal de moyenne Casamance (Sénégal) ». On montre ainsi qu'il se produit à ce niveau une transformation structurale des sols « rouges » en sols « beiges » à la suite d'un changement d'ordre pédoclimatique.

Cette transformation consiste essentiellement en une série de modifications de l'assemblage (et non de la nature minéralogique) des constituants d'origine, qui se produisent dans un ordre bien déterminé et qui affectent successivement, de façon irréversible, les relations « fer-argile », puis le type d'association « plasma-squelette » (argile-sable). Il en résulte une redistribution des matériaux au sein du profil pédologique, qui aboutit à la différenciation du sol beige.

Cette transformation s'amorce sur les surfaces planes au milieu des plateaux, puis se propage à la faveur des périodes arides, par déplacement centrifuge d'un front d'humidité (ou de dessiccation) à une vitesse estimée à quelques centimètres par an en moyenne. Elle s'accompagne de la formation de dépressions par le simple effet du tassement, consécutif à l'effondrement de la structure du sol centrifuge d'un front d'humidité (ou de dessiccation). Ce n'est que dans une seconde phase que le développement de ces dépressions tend à se faire plus classiquement par redistribution latérale de matière solide.

Cette désorganisation, liée à des actions bioclimatiques actuelles ou passées peut être considérée comme une des causes de la répartition zonale des sols dans le domaine ouest-africain.

## ABSTRACT

On the "Continental terminal" formation of west Africa, under humid climates, very large surfaces south of the 14th parallel, are occupied by deep red ferrallitic soils. Their characteristics are the same as the "oxisols" as defined by the Soil Taxonomy (U.S.D.A.). In the northern part they change, generally sharply, into "beige, leached ferruginous tropical soils". These soils have almost the same mineralogical composition as the "red" soils, differing by their morphological characteristics and their hydric behaviour. It seems that this limit has no relations with lithological or morphological contacts. They are normally placed within the zone of bioclimatic instability in the inter-tropical regions, with alternate very dry and very humid periods. As regarded in detail this limit presents as narrow band of transitional soils (0.1 to 10 km wide).

This transition is studied more precisely in the soils developed on clayey sandstone of the "Continental terminal" formation in the region of middle Casamance (Sénégal). It was shown that in the transitional zone a structural transformation of "red soils" into "beige soils" is produced, due to changing of pedoclimatic order: this transformation consists essentially in a series of fabric modifications of the original constituents without changing the mineralogical nature. These modifications are produced in a well definite order, affecting consecutively and irreversibly the "clay-iron relation" and the "plasma-skeleton association" (clay-sand). As a result a redistribution of the material occurs in the pedological profile, finishing in the differentiation of the "beige" soil.

The transformation begins in the middle part of the flat surfaced plateau. Afterwards it extends as a consequence of the arid periods, by centrifugal shifting of humidity (or desiccation) gradient with estimate average rate of some centimeters per year.

This first step of the transformation consists on the breaking down of the ferrallitic soil structure under the action of a strong desiccation. This induces the formation of depressions due to the compressing effect. It is only in a second phase that the lateral redistribution of the solid material plays a role in the development of these depressions.

This desorganisation related to the recent or past bioclimatic actions can be considered as one of the reason of the pedological covering zonality in west Africa.

## INTRODUCTION

Les grès argileux du « Continental terminal », qui constituent les bas plateaux de Casamance, sont composés uniformément de minéraux relativement résistants : quartz, kaolinite et hydrates ferriques.

Dans la zone humide, ces formations portent surtout des sols rouges ferrallitiques au sujet desquels Fauck (1970) a pu montrer que la pédogenèse actuelle dissout les quartz et accumule la kaolinite de manière relative.

Lorsque les conditions deviennent plus sèches, comme en moyenne Casamance par exemple (ce qui semblerait exclure toute autre différenciation pédogéochimique), les sols rouges ne sont plus seuls, mais associés à des sols beiges : il apparaît ainsi une distribution ordonnée des sols dans le paysage qui est marquée par l'existence de variations latérales et verticales importantes de la couleur et des propriétés physiques des matériaux, dont la constitution minéralogique reste cependant inchangée.

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 de réorganisation et redistribution des constituants du sol, qui font précisément l'objet de cette étude.

#### 1. DISTRIBUTION DES SOLS DE CASAMANCE ET DES RÉGIONS AVOISINANTES DÉVELOPPÉS SUR LES FORMATIONS GRÉSO-ARGILEUSES DU « CONTINENTAL TERMINAL » (1)

De toutes les caractéristiques des sols étudiés ici, la couleur est à la fois la plus apparente et la plus diversifiée : elle présente une gamme très remarquable de nuances. Cependant, les pédologues utilisent communément deux appellations : « rouge » et « beige », exprimant ainsi qu'il existe entre ces sols une certaine discontinuité.

Cette importance accordée aux couleurs ressort en particulier des travaux de Maignien (1961), por-

(1) A l'exclusion des sols développés sur des recouvrements sableux d'origine éolienne, des colluvions et des alluvions sablo-argileuses à argileuses et des vases marines.

tant sur la région sud-ouest du Sénégal, qui a mis en évidence des relations entre la couleur des sols et d'autres caractéristiques morphologiques (épaisseur, porosité et friabilité du sol rouge; différenciation plus accentuée du profil, porosité moindre et structure plus large du sol beige). Cet auteur a ainsi été conduit à supposer que les processus pédogénétiques dominants étaient différents dans l'un et l'autre cas.

De fait, ces sols se sont vu attribuer des places différentes dans la classification française (Aubert, 1965), les sols rouges étant appelés « ferrallitiques » et les sols « beiges ferrugineux tropicaux lessivés ».

### 1.1. Distribution zonale et régionale des sols rouges et des sols beiges

Maignien (1965) a le premier esquissé les grands traits de la distribution des sols rouges et des sols beiges, telle qu'elle est représentée sur la carte schématique de la figure 1. Si on se réfère en effet à cette carte, tout se passe comme si les sols se distribuaient de façon ordonnée dans les mailles d'un réseau formé par l'entrelacement de lignes approxi-

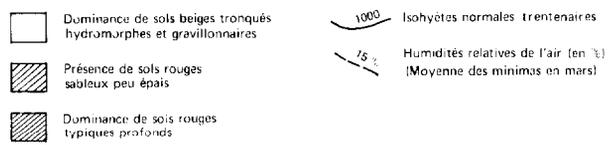
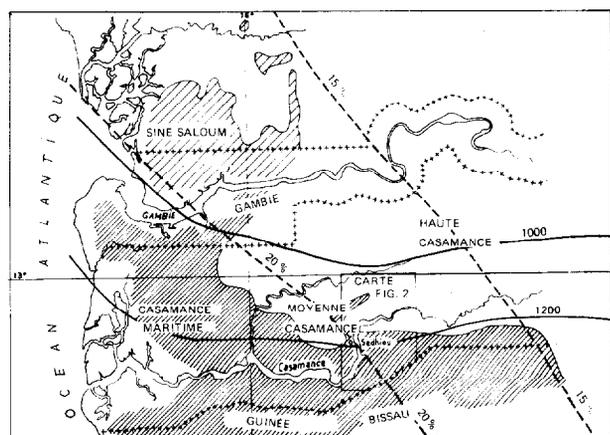


FIG. 1. — Carte schématique montrant la limite entre sols « rouges » et les sols « beiges » dans la région sud-ouest du Sénégal (d'après Maignien, 1965, modifié).

mativement latitudinales et obliques (Nord-Ouest - Sud-Est) :

- les premières indiquant l'intervention du facteur « pluviométrie » qui décroît fortement du sud au nord ;
- les secondes suggérant l'action d'un autre facteur, tel que l'abaissement de l'humidité relative de l'air en saison sèche (d'autant plus fort qu'on s'éloigne de la mer).

Cette distribution sensiblement ordonnée par rapport à deux axes de coordonnées détermine les distributions régionales qui peuvent être examinées en détail, au niveau de chaque maille du réseau, grâce à l'ensemble des études cartographiques disponibles : Fauck, Turenne et Vizier (1963), Maignien (1965), Tobias (1965), Baldensperger, Staimesse et Tobias (1968), Piéri (1969), Seguy (1969), Bertrand (1971-1973). Les grands traits de la structure pédologique régionale ainsi mise en évidence sont récapitulés dans le tableau I.

Ainsi regroupées, ces données extraites des études cartographiques suggèrent que la distribution des sols observée révèle en fait la diversité des conditions pédoclimatiques et physicochimiques réalisées dans le temps et dans l'espace, responsables du maintien du sol rouge ou/et du développement du sol beige selon la position par rapport au modelé et les particularités du climat local. Cette hypothèse, qui suppose des relations génétiques entre les deux types de sols conduit à envisager l'étude de la distribution des sols à l'échelle des paysages suivant lesquels ils s'ordonnent.

### 1.2. Distribution paysagique des sols rouges et beiges

La structure de la couverture pédologique sera présentée en premier lieu dans la région où sont le plus étroitement associés sols rouges et beiges (de plateau) typiques, c'est-à-dire dans la partie médiane de la moyenne Casamance (1) représentée sur la carte de la figure 2.

On notera tout d'abord que celle-ci constitue une zone de transition, non seulement en ce qui concerne les sols (passage de la dominance des sols rouges au sud à celle des sols beiges au nord), mais aussi pour ce qui est du climat (gradient pluviométrique élevé, limite de pénétration des masses

(1) La connaissance de cette région est en grande partie attribuable aux travaux de Tobias (1968).

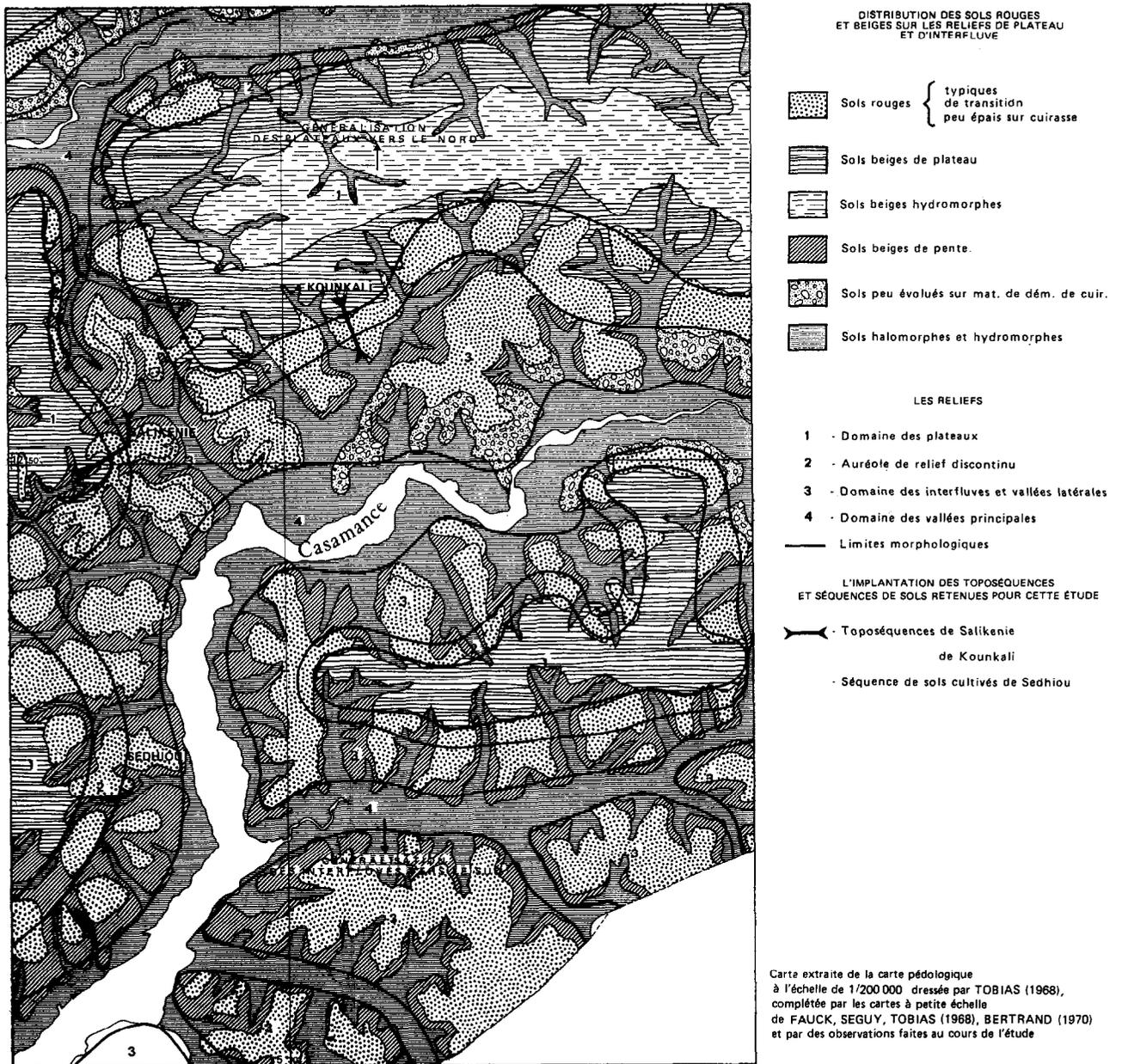


FIG. 2. — Distribution des sols rouges et beiges sur les reliefs de plateau et d'interfluve de moyenne Casamance.

TABLEAU I

Distribution zonale et régionale des sols « rouges » et « beiges »

Distribution latitudinale	Distribution longitudinale				
	Humidité relative minimum de l'air (%)	( > 20 )	20	15	( < 15 )
	Pluviosité annuelle (mm)				
— 1 000 —		Sols rouges presque exclusifs (Casamance maritime)	Sols beiges et sols grav. dominants - présence de sols rouges sableux peu épais (Sine Saloum et N. moy. Cas)	Sols beiges et sols gravillonnaires dominants (Est du Sine Saloum et Nord de la haute Casamance)	
— 1 200 —			Sols rouges et sols beiges associés (milieu de la moy. Casamance)		
			Sols rouges dominants (Sud de la moyenne Casamance)	Sols beiges dominants + Témoins de sols rouges (Sud de la haute-Casamance)	

d'air sec) et du modelé (généralisation des interfluves vers le sud et des plateaux vers le nord).

On reconnaît sur cette carte :

— *Au nord*, un assez vaste plateau compris entre la vallée de la Casamance et celle de son affluent principal : le Sangrourou. Il présente sur sa périphérie une suite de reliefs émoussés à profil convexe (zone 2 sur la carte) à peine accentués (leur hauteur ne dépasse pas quelques mètres). Ces reliefs qui forment un bourrelet en auréole portent des sols rouges typiques. Ils sont découpés par les vallées latérales des affluents de la Casamance et du Sangrourou, alimentées par les eaux de surface provenant de la partie centrale du plateau. Ils constituent ainsi une barrière discontinue entre le domaine des interfluves (zone 3) dont les surfaces convexes supportent des sols rouges typiques, et celui des plateaux (zone 1) occupé surtout par des sols beiges et beiges hydromorphes.

Ce « bourrelet », à peine perceptible, semble bien constituer en fait une forme de transition entre les zones (3) et (1), tant en ce qui concerne les formes du relief (passage de la surface convexe des interfluves à celle légèrement bombée du « bourrelet », puis à la planéité du plateau), que pour ce qui est des sols eux-mêmes (absence de discontinuité entre sols rouges « de crête » et « de plateau » - Cointepas (1960) ; passage progressif, bien que rapide, entre sols rouges et beiges). C'est précisément

à ce niveau que sont observés les intergrades entre les deux types de sols, regroupés par Seguy (1969) sous le terme de sols « rouges de transition ».

— *Plus au sud* (au tiers inférieur de la carte), un autre ensemble de reliefs de dimensions globales comparables présente une répartition différente des formes (1), (2) et (3) : tandis que le domaine des plateaux occupé par les sols beiges s'amenuise, celui des interfluves couverts par les sols rouges typiques devient prépondérant.

— *A la limite sud*, le domaine des plateaux (1) n'est plus représenté, l'ensemble du relief étant constitué par des interfluves dont la surface convexe est couverte par des sols rouges typiques et les versants par des sols remaniés (beiges de pente).

Il apparaît ainsi une certaine logique dans la distribution paysagique des sols. En effet, alors que les sols rouges occupent le centre des reliefs convexes au sud, ils forment sur le pourtour des plateaux une auréole de plus en plus lâche, claire et discontinue vers le nord, laissant place (au centre) aux sols beiges typiques, puis hydromorphes, indurés, tronqués, gravillonnaires...

Il convient de remarquer que cet ordre ne semble pas être en relation avec une quelconque stratigraphie des matériaux originels du « Continental terminal » puisque, dans la seule région de Séfa, les sols rouges se trouvent situés à des altitudes

qui varient entre 40 et 18 mètres. C'est donc bien la place des sols dans l'ordre de distribution, qui est ici caractéristique.

Si la raison des variations observées du sud au nord reste hypothétique, leur connaissance permet cependant de déterminer les endroits où la probabilité d'existence d'une transformation locale actuelle est la plus grande : il s'agit des secteurs où se trouvent associés, sous forme de séquences, des sols « rouges typiques » et des sols « beiges de plateau », ainsi que leurs formes de transition.

## 2. ORGANISATIONS SÉQUENTIELLES

### 2.1. Toposéquences et séquences d'évolution

Les suites de différenciations et d'organisations pédologiques constituent des séquences de sols :

— ordonnées *dans l'espace*, elles sont appelées *toposéquences* ;

— elles peuvent aussi être ordonnées *dans le temps*, comme cela se produit dans le cadre de certains essais culturaux datés ; nous parlerons alors de *séquences d'évolution*.

#### LES TOPOSÉQUENCES

Les toposéquences, qui sont à la base de l'étude **synchronique** du « système pédologique » de la moyenne Casamance, sont toutes comparables à

la toposéquence de Salikenié présentée ici. Son tracé a été établi de façon telle que la plupart des profils soient situés sous végétation forestière conservée. Pour cette raison, il se présente sous la forme d'une ligne brisée, dont l'angle obtus est situé au point le plus haut de la toposéquence. A partir de là, deux axes de plus grande pente rejoignent au nord le marigot de Salikenié et au sud-ouest la partie plane du plateau.

Le modelé, reconnu par lever topographique, est typique de cette région de Casamance. La coupe correspondante est représentée sur la figure 3, sur laquelle on distingue :

- un relief à profil convexe, à peine marqué (au centre) constituant l'auréole discontinue qui entoure le plateau ;
- un versant de forme convexe là où les niveaux indurés se trouvent masqués, mais qui présente des décrochements en marches d'escalier lorsqu'affleure la cuirasse ;
- un raccordement au plateau marqué par une petite déclivité qui s'amortit en direction du plateau. La dénivellation entre le sommet du relief convexe et le bas de cette pente est ici voisine de 5 mètres ;
- une surface presque plane (à droite), à peine entaillée par de petits thalwegs, dont l'altitude moyenne tend à s'élever très légèrement vers le centre du plateau (où sont relevées les cotes les plus élevées sur la carte topographique).

La distribution des sols est également caractéristique de la région :

- Seul le relief à profil convexe est occupé par des sols rouges typiques. Ils tendent, dans tous les cas, à se nuancer de teintes jaunes là où diminue la convexité du relief.

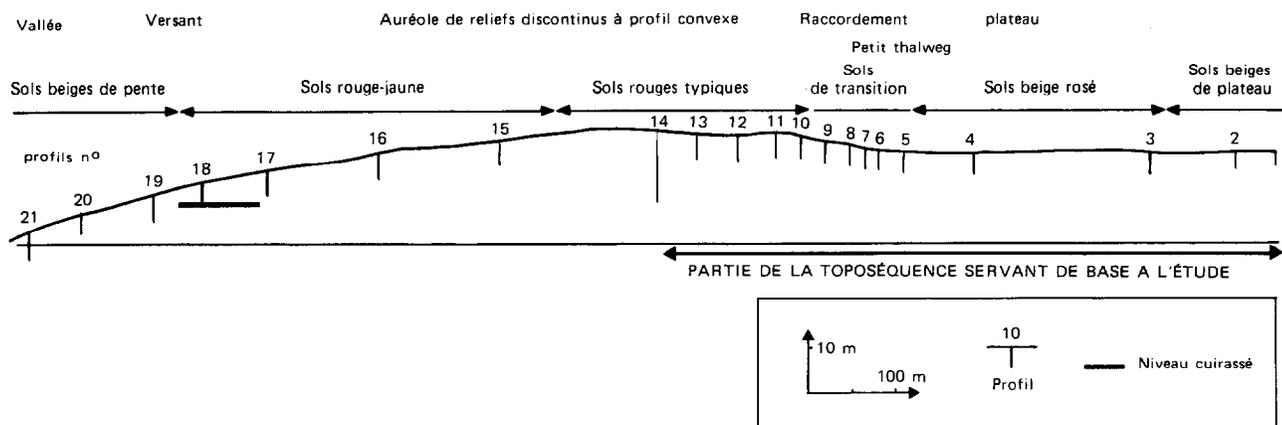


FIG. 3. — Coupe de la toposéquence de Salikenié. Répartition des sols et localisation des profils.

- Le raccordement au plateau est caractérisé par un ensemble de variations ordonnées du sol, s'étendant sur une brève distance (200 m) : à partir du sol rouge typique, on observe le développement de teintes plus jaunes à brunes qui, de haut en bas, gagnent progressivement les horizons AB, B<sub>1</sub> et B<sub>2</sub>, tandis que s'accroît la compacité et que s'individualisent des nodules. Ces variations caractérisent les sols de transition.
- Sur la surface plane, enfin, les couleurs plus pâles à dominante brune se généralisent à l'ensemble des horizons et définissent les sols beiges. Une évolution plus hydromorphe s'y manifeste, en direction du centre du plateau, par des colorations encore plus claires et par la présence de taches et concrétions.

Nous avons choisi la partie de la toposéquence indiquée par une flèche sur la figure 3, marquant le passage du sol rouge typique au sol beige de plateau, puis hydromorphe, pour servir de base à cette étude. L'homogénéité du matériau sur ce tronçon semble être confirmée par l'étude des sables : la comparaison des résultats obtenus par tamisage montre en effet que leurs distributions dimensionnelles sont très voisines, sinon analogues, au niveau de la base de l'horizon B<sub>1</sub>, sur tout le parcours considéré.

LES SÉQUENCES D'ÉVOLUTION DES SOLS ROUGES SOUS CULTURE

Après déforestation et mise en culture, les sols rouges sont souvent (1) affectés par une évolution rapide, décelable dès les premières années, marquées par des modifications de la couleur (qui se nuance de brun et de jaune et tend à s'éclaircir), de la compacité (qui s'accroît) et de l'individualisation des formes nodulaires (de plus en plus distinctes et contrastées). Cette convergence morphologique avec les variations observées latéralement sous forêt à partir du sol rouge a incité Seguy (1969) à regrouper tous les profils présentant ces caractéristiques sous la même appellation de « sols de transition ».

Echelonnés dans le temps, ces stades successifs de différenciation consécutifs à la déforestation (dont l'ancienneté varie de quelques années à près d'un siècle selon l'enquête de Siband, 1974) constituent les séquences d'évolution des sols rouges sous culture et représentent l'aspect *diachronique* de l'évolution pédologique.

(1) Il est des cas où l'évolution s'oriente de façon différente vers les sols rouges sableux à profil peu différencié (Chauvel, 1977).

2.2. Morphologie des principaux profils pédologiques

En ce qui concerne la toposéquence, tout d'abord l'observation de 14 profils répartis entre le sommet de la surface convexe et le centre du plateau permet de reconnaître les variations ordonnées qui marquent la transition entre le sol rouge ferrallitique et le sol beige ferrugineux tropical étudiés par Maignien (1961).

Les trois profils les plus typiques sont représentés de façon schématique sur la figure 4.

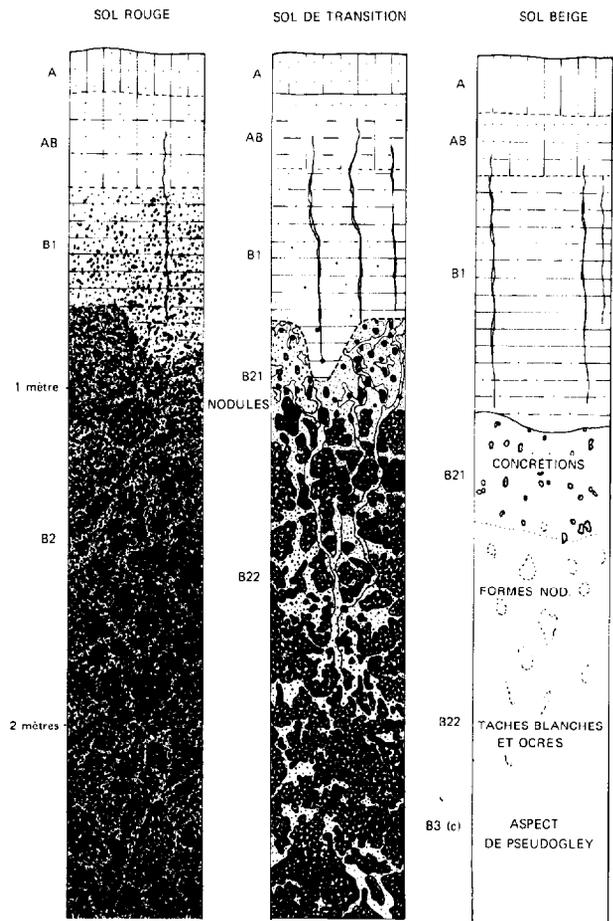


FIG. 4. — Présentation schématique de profils.

LE SOL ROUGE

Homogène dans son ensemble, il ne présente une différenciation apparente que dans sa partie supé-

rieure de 0 à 40 cm, au niveau des horizons A et AB teintés de brun par la matière organique et plus sableux.

L'horizon B<sub>1</sub> est franchement rouge. Son matériau humide donne au toucher une légère impression grenue avant de révéler sa constitution argileuse. C'est à ce niveau que s'observe la structure la plus large et la plus fragmentaire du profil.

Par une transition diffuse, à peine perceptible, on passe plus en profondeur à un matériau se présentant comme un continuum pratiquement sans fissures, ni faces structurales larges. Il est en fait constitué par de petits grains complexes, accolés, bien visibles à la loupe, qui gardent une cohésion suffisante à l'état humide pour simuler au toucher la présence de sables. Ce n'est qu'après trituration que se révèle alors progressivement leur texture argileuse. L'ensemble est très poreux, très friable à la pression, tout en possédant une excellente tenue à l'érosion.

Dans ce matériau très divisé se distinguent difficilement des formes nodulaires de dimensions centimétriques, à peine contrastées, légèrement plus cohérentes que la matrice.

#### LE SOL BEIGE

A l'inverse du précédent, il présente une différenciation accusée en horizons pédologiques :

- A et AB humifères, brun-gris, sableux, à structure massive à particulaire et localement grumeleuse ;
- B<sub>1</sub>, brun pâle, franchement argilo-sableux, largement structuré, pénétré par des fentes de retrait ;
- B<sub>2</sub> enfin, caractérisé par la présence de nodules brun-rouge sombre et de concrétions, peu abondants et contrastés dans la partie supérieure de l'horizon, passant de façon continue à des volumes nodulaires rougeâtres, beaucoup moins nettement définis et plus largement représentés vers le bas, qui s'effacent progressivement lorsque s'éclaircit le matériau et que s'y développent des taches grises et ocre de pseudogley.

#### LES SOLS DE TRANSITION

Entre ces deux types de sols, *les sols de transition* constituent seulement une étroite frange. Ils ne sont pas définis en fait par un profil type, mais par la

gradation des caractéristiques morphologiques mises en évidence sur une série de coupes rapprochées :

- A partir du sol rouge, les variations se manifestent d'abord en haut du profil par des couleurs plus jaunes et des textures plus argileuses ;
- A peine plus loin, l'horizon B<sub>1</sub> est compact et massif. Sa limite avec B<sub>2</sub> est alors marquée par l'apparition de nodules rouges de dimensions centimétriques ; celles-ci sont de plus en plus contrastées et individualisées de bas en haut, dans un fond matriciel qui s'éclaircit ; elles passent progressivement en profondeur à une masse continue pénétrée par un réseau de galeries blanchâtres ;
- A l'approche du sol beige, une variation latérale affecte à la fois les horizons superficiels qui deviennent plus sableux, et la partie plus profonde du profil où s'accroît la différenciation des nodules.

Retenons que les sols de transition n'ont pas seulement des caractéristiques intermédiaires, mais possèdent aussi des caractères qui leur sont propres, tels que les textures *plus* argileuses, les structures *plus* massives, les compacités *plus* fortes et la prépondérance des volumes nodulaires.

En dehors du couvert forestier, sous lequel est située la toposéquence, une différenciation morphologique très comparable à celle des sols de transition se manifeste dans les profils de sols cultivés, et en particulier dans les parcelles de la station de Séfa étudiées par Seguy (1969), à l'emplacement même où des reconnaissances préalables au défrichement avaient nettement identifié, il y a près de 20 ans, la présence de sols rouges ferrallitiques typiques.

La différenciation observée se manifeste là encore par deux groupes de caractères qui apparaissent indissociables, bien qu'ils affectent des horizons différents :

- jaunissement et développement d'une compacité élevée dans les horizons A et AB,
- individualisation de formes nodulaires dans l'horizon B<sub>2</sub>.

Le sol s'est ainsi transformé à la suite du changement des conditions d'évolution résultant de la déforestation. Notons en outre que cette modification dans le temps se révèle comparable à celle reconnue dans l'espace au sein de la toposéquence, bien qu'elle n'aboutisse pas à un état de différenciation équivalent à celui du sol beige.

### 3. ARGUMENTS EN FAVEUR DES TRANSFORMATIONS

Les données d'observation exposées précédemment nous conduisent à envisager l'hypothèse suivante :

« Le contact entre sol rouge et sol beige observé sous forêt, bien que relativement rapide et tranché, marque en fait le passage du premier au second par une suite de transformations morphologiques discernables dans la frange étroite des sols de transition ».

Les arguments en faveur de cette hypothèse doivent être recherchés dans la récapitulation des faits relatifs à la distribution des sols, mais aussi dans les résultats de l'analyse microscopique, dans les indications fournies par des essais culturaux et enfin par les données de quelques études expérimentales.

#### 3.1. Structure de la couverture pédologique

On a déjà mis en évidence (paragr. 1.2.) la continuité de l'ordre observé dans la distribution paysagique des sols de moyenne Casamance.

Dans cette région, tout se passe comme si, à l'extension des sols rouges ferrallitiques généralisée à la plus grande partie des reliefs avait succédé la différenciation à leurs dépens de sols beiges ferrugineux à partir des surfaces les plus planes situées du centre des plateaux, cette différenciation affectant des zones de plus en plus étendues à mesure qu'on se déplace vers le nord-est, c'est-à-dire vers des *conditions climatiques plus contrastées* (alternance de périodes très pluvieuses et très arides).

#### 3.2. Données de l'analyse microscopique

a) L'étude fine des assemblages élémentaires des constituants (Chauvel, 1977 ; Chauvel, Bocquier et Pedro, 1978) nous montre précisément que les variations, ordonnées dans l'espace, le sont également dans le temps, mettant ainsi en évidence les filiations, c'est-à-dire l'ordre et la nature des transformations de la structure qui assurent la succession des différentes organisations.

La microstructure du sol rouge ferrallitique de Casamance se définit comme une charpente d'origine globulaire, assurée par un assemblage continu de

micronodules qui délimite de nombreux vides intermicronodulaires communicants (photo 1). Nous l'avons appelé « structure micronodulaire continue de premier ordre ».

Ces micronodules sont eux-mêmes constitués par un abondant plasma isotrope (à base de kaolinite et d'hydrates ferriques) englobant les grains de quartz du squelette. On y distingue quelques domaines orientés et surtout de fins liserés d'argile jaune périphériques.

L'assemblage continu de ces micronodules définit un réseau de vides communicants. La remarquable stabilité de cette charpente ne disparaît que dans les horizons supérieurs du sol (B<sub>1</sub>, AB et A), où s'observe une disjonction entre le squelette et le plasma.

b) Des transformations affectent cette microstructure à partir du sol de transition. Elles sont discernables à trois échelles :

— *A l'échelle des micronodules* (100 à 500  $\mu$ ) : ceux-ci deviennent plus contrastés, de formes plus découpées (photo 2) et ils sont associés à un fond matriciel décoloré ou à des ferri-argilanes zonés. L'opacification de ces micronodules se réalise plus particulièrement en relation avec une évolution des ferri-argilanes, qui serait comparable à celle décrite par Stoops (1968) et par Bocquier *et al.* (1972). Ces ferri-argilanes présentent en effet, non seulement des interpénétrations et des limites diffuses avec les micronodules (photo 3) qui indiquent leur formation en place par réorientation, 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 des vides. Seules les zones décolorées kaolinitiques semblent être par la suite mobilisées, tandis que la structure micronodulaire s'opacifie, ce qui suggère son imprégnation par les oxy-hydrates ferriques.

— *A l'échelle d'une structure nodulaire de second ordre* qui se développe (centimétrique) : résultant des concentrations localisées de ferri-argilanes (plus abondants vers le sommet de l'horizon B<sub>2</sub>) au sein de la structure micronodulaire de premier ordre, des volumes de dimensions centimétriques apparaissent plus denses et opacifiés. Ils se différencient progressivement de bas en haut par rapport à un fond matriciel plus clair et brassé par la faune, dans lequel tendent à se disséminer et à se dissocier les micronodules (photo 5). Les discontinuités qui s'affirment alors entre nodules et matrice (photo 6)

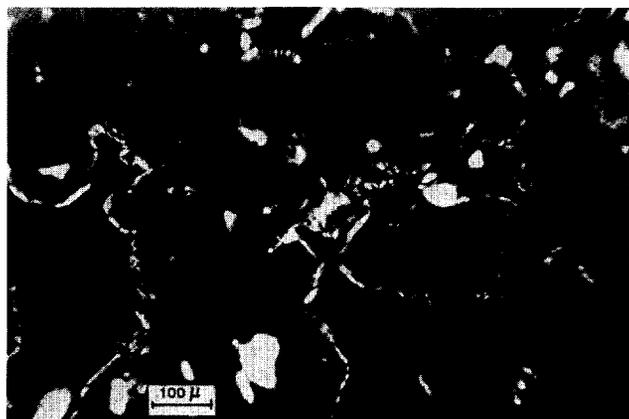


PHOTO 1. — (Sol rouge - Horizons B2 et B3) : structure micromodulaire continue de 1<sup>er</sup> ordre. Plasma rouge isotrope ; grains de quartz ; liseres d'argile orientée ; vides communicants.

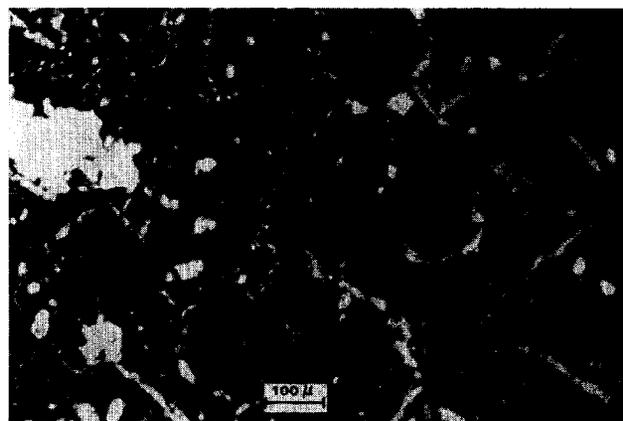


PHOTO 2. — (Sol de transition - Horizon B21) : structure micromodulaire plus contrastée et découpée.

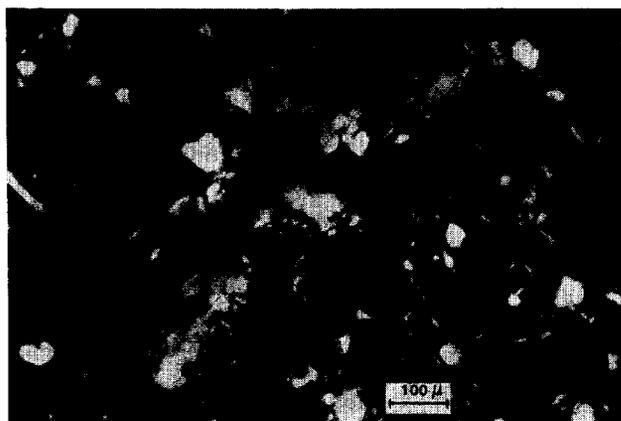


PHOTO 3. — (Sol de transition - Horizon B22) : inter-pénétration des argilanes dans la structure micromodulaire.

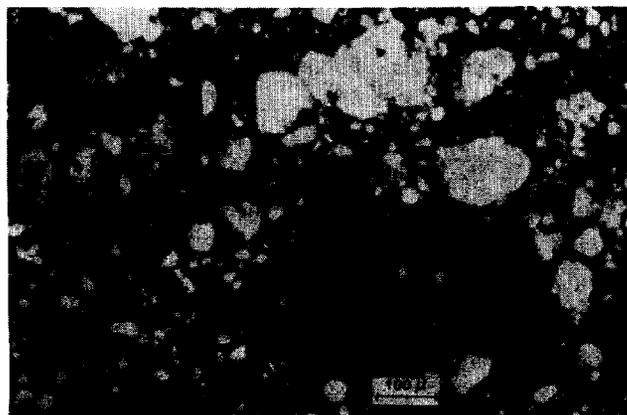


PHOTO 4. — (Sol beige - sommet de B1) : quartz morcelés. Micromodules « reliques ».

sont elles-mêmes le siège de nouvelles transformations qui mettent en œuvre des actions mécaniques, des dépôts et des ségrégations (du fer et de la kaolinite).

— *A l'échelle des horizons* qui se différencient : alors que la transformation de la structure micro-nodulaire en une structure nodulaire affecte principalement les horizons B<sub>2</sub> et B<sub>3</sub>, une évolution de la structure plasmique se manifeste dans la partie plus superficielle du profil : des orientations s'y développent sous forme de séparations plasmiques disposées en îlots ou en taches (on les attribue aux effets des contraintes engendrées par les alternances de dessiccations et d'humectations qui s'affirment vers la surface du sol). Des micronodules concentrés dans les chenaux biologiques ou disséminés et en voie d'intégration au fond matriciel sont également visibles. Les phénomènes de pédoturbation, qui dominent dans cette partie supérieure du profil, se traduisent macroscopiquement par le développement de structures plus compactes.

c) Les évolutions ultérieures observées au-delà des sols de transition aboutissent à la différenciation du sol beige.

Les structures nodulaires discontinues de deuxième ordre, formées dans les sols de transition se retrouvent ; mais, à leur tour, elles se transforment de trois manières différentes depuis le bas du profil :

- envahies par des taches dans l'horizon B<sub>3</sub>,
- elles s'estompent et disparaissent totalement dans l'horizon B<sub>22</sub>,
- tandis que les volumes nodulaires individualisés de l'horizon B<sub>1</sub> s'opacifient à leur périphérie, ce qui contribue à leur donner un début d'organisation concentrique et donc, une morphologie de concrétions.

Dans le fond matriciel beige, de plus en plus abondant, s'observent des lacunes et des argilanes qui révèlent des redistributions et départs d'argile.

Enfin, dans la partie supérieure du profil (photo 4), on note :

- une accumulation relative du squelette quartzeux, dissocié du plasma ; les grains de quartz, très corrodés par dissolution, sont semblables à ceux contenus dans les concrétions, mais débarrassés de leurs incrustations d'oxy-hydrates de fer et tendant à se morceler en grains plus petits ;

— la persistance de micronodules « reliques » qui sont les derniers témoins de la structure micro-nodulaire du sol rouge, et qui sont noyés dans un fond matriciel très clair, ne présentant aucune organisation particulière.

d) L'analyse microscopique met ainsi en évidence des transformations progressives du sol qui affectent, non pas la nature minéralogique des constituants, mais bien l'assemblage de ceux-ci. Elles interviennent à deux niveaux :

— Celui de l'association des constituants du plasma (kaolinite et hydrates ferriques), maintenus en assemblages stables dans les micronodules, plus ou moins cimentés dans les nodules et concrétions, ou encore « libérés » dans les argilanes et dans le fond matriciel beige.

— Celui des relations entre plasma et squelette : ce dernier s'englobe dans la charpente micro-nodulaire, se disperse dans le fond matriciel du sol beige et s'accumule de façon relative, par départ d'argile, dans les horizons superficiels de ce sol.

### 3.3. Résultats fournis par les essais culturaux et par les études expérimentales

a) La première approche, dans ce domaine consiste à opérer en vraie grandeur, dans le sol rouge en place, en examinant les transformations qui s'y produisent à la suite d'une modification des conditions d'évolution résultant de la mise en culture.

Il apparaît que le défrichement, qui a pour effet d'augmenter fortement l'amplitude des variations pédoclimatiques (tant en ce qui concerne les températures que l'humidité - Chauvel, 1977), provoque en quelques dizaines d'années une modification de la microstructure du sol rouge, très comparable à celle observée sous forêt au niveau du sol de transition (1).

On en déduit que la transformation morphologique du sol rouge est effectivement possible et qu'elle semble être liée à des variations de pédoclimat.

b) Une autre approche consiste en un essai de micromorphologie expérimentale réalisé « in vitro ».

(1) Cette évolution morphologique s'accompagne d'une baisse rapide du pH, voisine de deux dixièmes d'unités (Fauck et al., 1969).

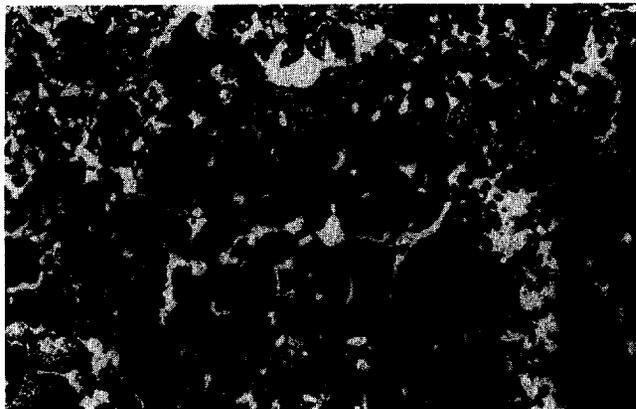


PHOTO 5. — (Sol de transition - horizon B2), différenciation de secteurs plus denses, isotropes, opacifiés, dans un fond matriciel plus clair brassé par la faune.

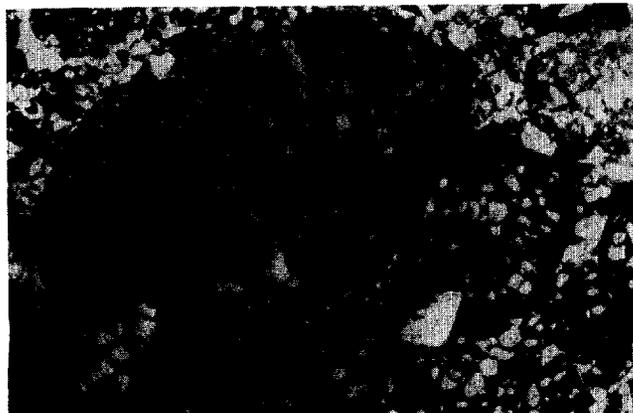
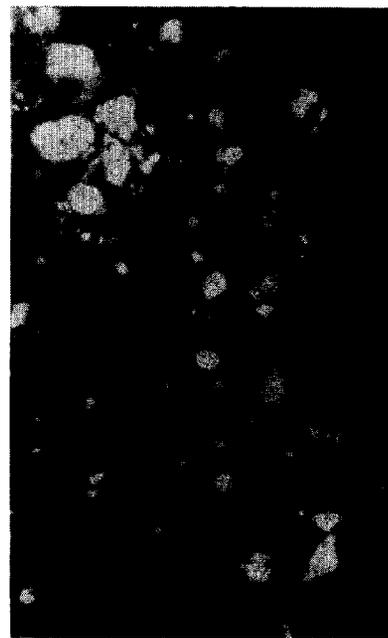
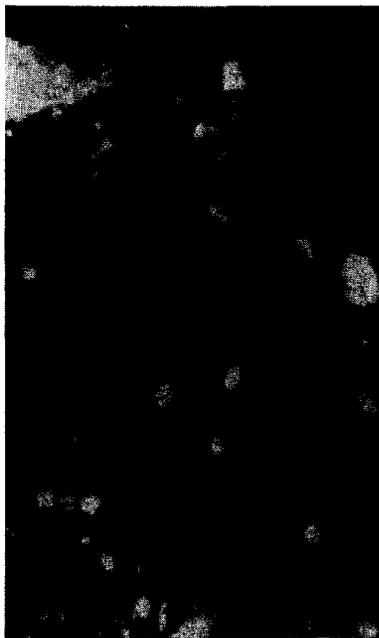
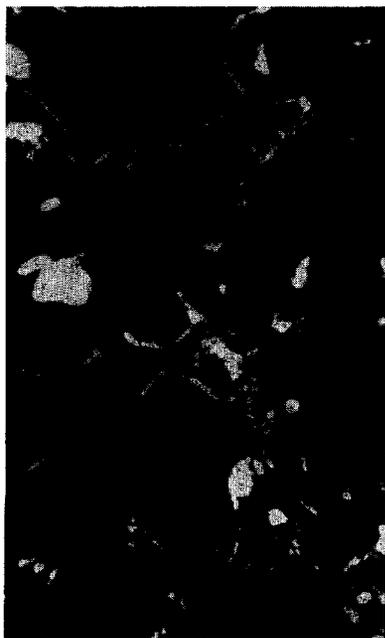


PHOTO 6. — (Sol de transition - horizon B2), les transformations qui interviennent au niveau des discontinuités séparant la matrice des nodules provoquent la rectification des formes de ce dernier.

De gauche à droite : PHOTO 7. — Echantillon témoin non traité.

PHOTO 8. — Une dessiccation poussée, suivie par une saturation par l'eau, provoque le développement de ferriargilanes formés « in situ ».

PHOTO 9. — Le réactif de « Tamm » a pour effet de dissocier la plus grande partie du matériau, ne laissant subsister que quelques micronodules.



On étudie ici les effets exercés sur la structure micronodulaire (photo 7) par deux traitements : l'un purement physique, l'autre faisant appel à un réactif complexant (TAMM), assurant la « déferrisation » superficielle des constituants argileux (Chauvel, 1977) (2).

— Dans le premier cas, le seul fait de soumettre ce type d'assemblage à une dessiccation poussée, puis à une humectation jusqu'à saturation, provoque le développement de ferri-argilanes qui sont donc formés *in situ*, par réorientation des particules argileuses des micronodules sous l'action des contraintes exercées par l'alternance de conditions hydriques extrêmes (photo 8).

— Dans le deuxième cas, le traitement « déferisant » TAMM a pour effet de dissocier la plus grande partie du matériau nodulaire, en ne laissant subsister que quelques îlots de micronodules dans un fond matriciel plus ou moins anisotrope comme celui du sol beige (photo 9).

Il apparaît dans ces conditions que si la dislocation de la structure micronodulaire et le développement de la compacité résultent essentiellement de l'action de contraintes hydriques extrêmes (conformément aux conclusions de Humbel (1976) relatives aux sols ferrallitiques du Cameroun), la libération véritable des argiles du plasma serait due, elle, à la « déferrisation » superficielle des constituants argileux.

De ces deux approches expérimentales, nous tirons donc, non seulement des arguments en faveur d'une transformation du sol rouge en sol beige, mais encore des indications sur les facteurs qui entrent en jeu dans cette évolution.

### 3.4. Dynamique générale du phénomène

Elle repose sur la mise en œuvre de 3 mécanismes qui apparaissent comme étant enchaînés :

— *Le premier* d'entre eux, résultant de contraintes hydriques, est de nature essentiellement physique et mécanique. Il est responsable de la dislocation de la structure micronodulaire continue de premier

ordre du sol rouge et correspond au phénomène « d'ultradessiccation » (Chauvel, 1977 ; Chauvel et Pédro, 1978).

L'étude microscopique (et ultramicroscopique) des assemblages caractéristiques de ce sol (photo 1) conduit à distinguer deux types de porosité :

Une porosité intermicronodulaire, constituée par des vides de 2 à 100  $\mu$  de diamètre, qui assurent la circulation de la solution du sol et sa rétention sous de faibles contraintes. Elle est maintenue par la charpente indéformable des micronodules, ce qui explique pourquoi l'eau se déplace dans ces profils à des vitesses élevées et sensiblement constantes.

Une porosité intramicronodulaire qui se situe au sein de l'assemblage plasmique isotrope. Les vides étant de très petites dimensions (cryptovides de 0,1  $\mu$  non visibles au microscope optique), ils retiennent l'eau avec une très forte énergie ( $pF > 4,2$ ), ce qui la rend indisponible pour les plantes et seulement susceptible d'être évaporée.

Cette porosité intramicronodulaire est assurée grâce à la stabilité d'un assemblage tridimensionnel des cristallites de kaolinite. Mais, lorsqu'interviennent des conditions extrêmes d'aridité dues à la pénétration de masses d'air très sec (l'humidité relative minimale moyenne de l'air à Séfa atteint 17 % au mois de mars, ce qui correspond à des contraintes hydriques supérieures à 1 000 atmosphères) et/ou encore à la destruction de l'écran protecteur constitué par le couvert forestier, il en résulte une évacuation de l'eau contenue dans les cryptovides et la rupture des liaisons interparticulaires ; en sorte que, lorsqu'il y a ultérieurement réhumectation, celle-ci s'effectue nécessairement dans des conditions différentes, provoquant la réorientation des particules, manifestée par le développement des ferri-argilanes.

Le phénomène s'autodéveloppe ensuite, puisque de cette première modification des assemblages plasmiques résulte une augmentation de la continuité du matériau et, par-là même, de la conductivité hydraulique et des possibilités de dessiccation ultérieure. C'est ce qui est à l'origine du développement du deuxième mécanisme.

— *Le deuxième mécanisme* est, lui, de nature strictement physicochimique, car, à partir du moment où l'humidité du sol devient de plus en plus faible, les films d'eau à la surface des particules sont aussi de moins en moins épais, et par-là même de plus en plus polarisés. Il en résulte un taux de dissocia-

(2) Par déferrisation, nous entendons l'extraction de la petite quantité de fer fixée sur les argiles au niveau des déficits de charge non compensés, à l'exclusion de tout autre type de fer du sol.

tion très élevé (Mortland, 1968), qui permet la réalisation à l'interface de pH très bas (de l'ordre de 2.) Or de telles conditions suffisent à provoquer en milieu normalement oxydant, la mobilisation et le départ du fer ferrique plus ou moins hydroxylé fixé sur les sites d'échange des argiles kaoliniques (déferrisation), entraînant la libération de la plus grande partie de l'argile originellement bloquée (Chauvel et Pedro, 1978).

— *Le troisième mécanisme* peut alors à son tour se manifester : il découle de la mise en jeu de conditions hydrodynamiques qui favorisent la séparation de l'argile et des sables (disjonction : plasma-squelette) et permettent la redistribution des éléments ainsi dissociés, aboutissant à l'individualisation de profils différenciés (sols beiges).

#### 4. MODALITÉS DE LA PROPAGATION SPATIALE DES TRANSFORMATIONS

L'évolution des sols rouges ferrallitiques ici envisagée, est caractérisée par la formation de sols colmatés à profils différenciés, peu épais, qui se propagent à partir des zones planes des plateaux selon un « front de digestion » des sols rouges, particulièrement dans la région de moyenne Casamance, très arrosée durant la saison des pluies, mais soumise durant les mois de février, mars et avril à des incursions d'air très sec d'origine continentale, par suite des oscillations du front intertropical.

Leur propagation sera d'abord envisagée de façon linéaire dans le cadre de la toposéquence sous forêt ; elle sera ensuite analysée à l'échelle des paysages à partir des données cartographiques.

##### 4.1. Propagation linéaire dans le cadre de la toposéquence sous forêt

Deux propriétés du sol rouge expliquent sa résistance relative aux transformations :

— La première résulte de la présence des horizons A et AB à texture plus sableuse (1) : leur

(1) Cette disposition classique résulte de l'intervention du phénomène d'appauvrissement sur les sols rouges ferrallitiques de Casamance, même lorsque ceux-ci sont maintenus dans leurs conditions de stabilité (Fauck, 1971).

charpente, formée surtout par des grains de quartz, est peu vulnérable à l'effet exercé par l'ultradessiccation sur la structure du sol. Ils constituent de ce fait une couverture peu favorable à la déperdition d'eau *per ascensum*.

— La seconde tient à la morphologie même du système poral précédemment décrit. Dès que le drainage a vidé la porosité large (intermicronodulaire), l'extrême division du matériau s'oppose à la circulation *per ascensum* et assure la conservation de l'eau retenue dans les micropores de l'assemblage plasmique, ce qui aboutit à une certaine autorégulation de l'état hydrique.

Dans ces conditions, il n'est pas surprenant que l'ultradessiccation ne puisse affecter en année normale (fig. 5 A) que des profondeurs relativement faibles, plus ou moins variables selon l'hétérogénéité de la couverture végétale, mais qui restent dans tous les cas *inférieures* à l'épaisseur des horizons A et AB à armature sableuse (proche de 40 cm).

La première atteinte portée à la charpente micronodulaire se manifeste à la faveur des années les

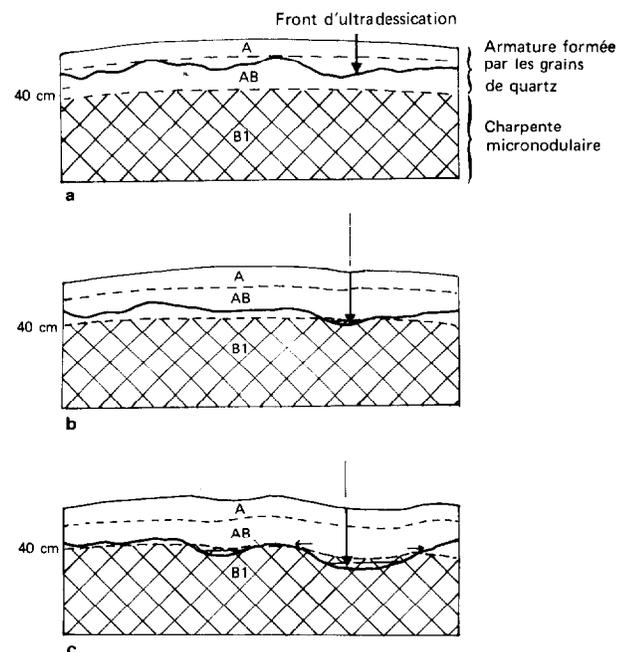
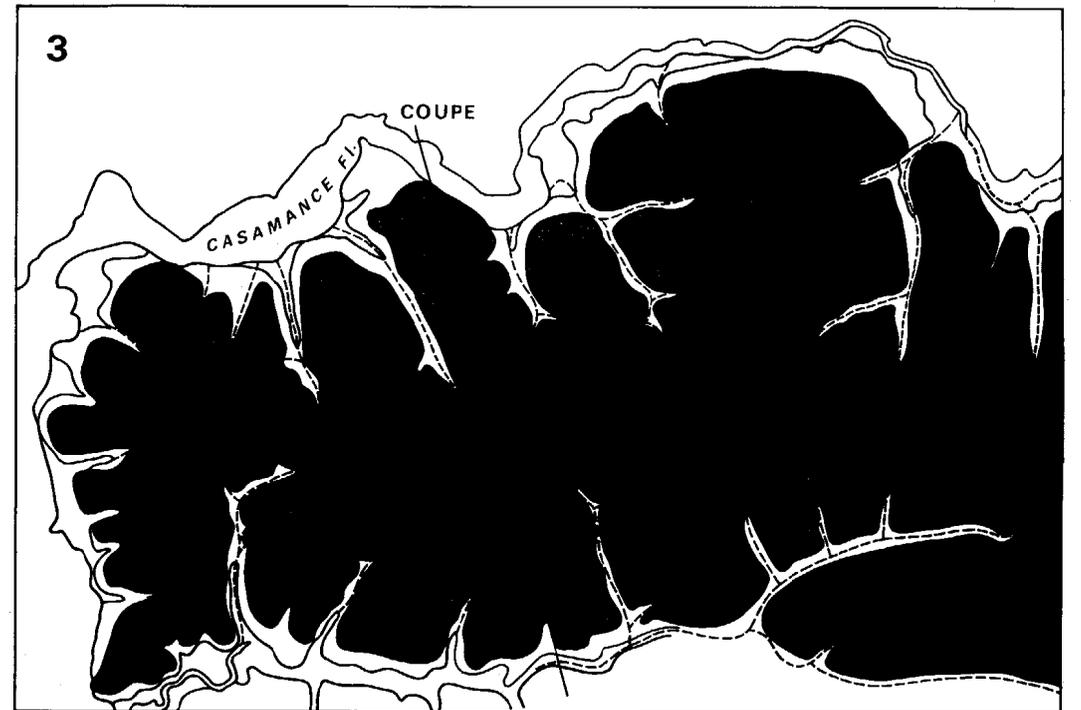
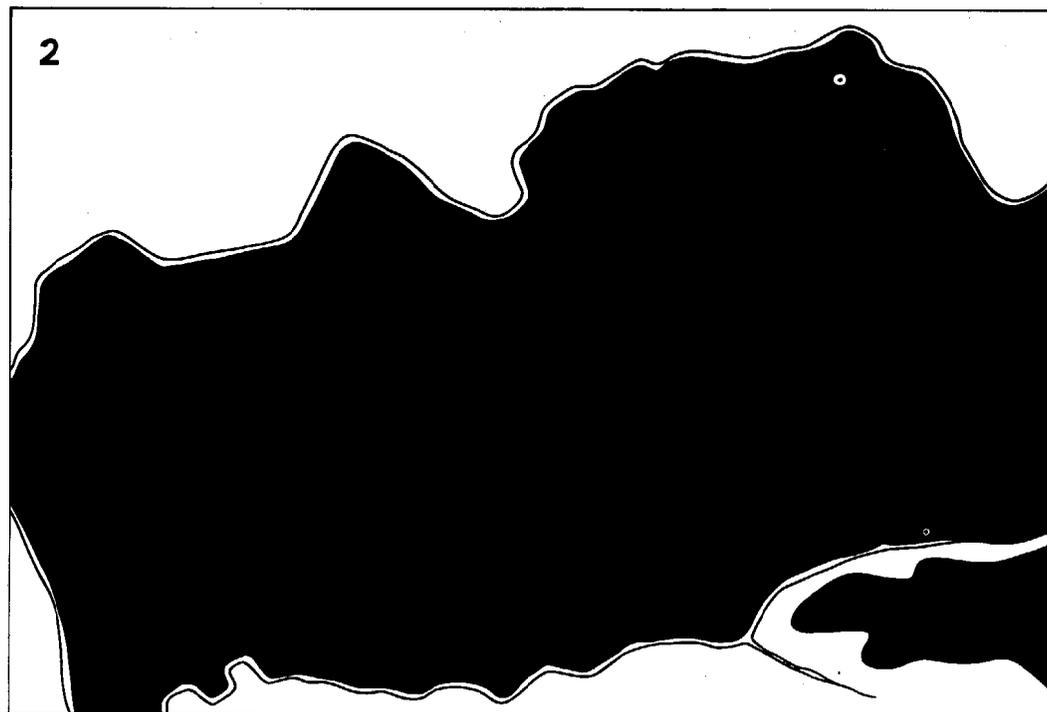


FIG. 5. — Propagation verticale de l'ultradessiccation. a : année normale ; b : année très sèche : atteinte de la charpente micronodulaire ; c : par la suite autodéveloppement des transformations.

LES DIFFÉRENTES ÉTAPES DE LA TRANSFORMATION PÉDOLOGIQUE D'UN PLATEAU DE MOYENNE CASAMANCE



5 Km



 Sols rouges

 Sols de transition

 Sols beiges de plateau

 Sols beiges de pente

 Sols peu évolués sur matériau de démantèlement de cuirasse

plus sèches (fig. 5 B) lorsque l'ultradessiccation peut se développer jusque dans la partie supérieure de l'horizon B<sub>1</sub> (au-delà de 40 cm) provoquant ainsi l'effondrement de sa microstructure et, par voie de conséquence, la formation de légères dépressions en surface, tandis que la couleur se nuance de jaune.

Mais cette évolution, qui accroît la compacité et la continuité du fond matriciel du B<sub>1</sub> affecté et donc la conductibilité hydraulique pour l'eau non saturante favorise à son tour (fig. 5 C) la progression de l'ultradessiccation vers les niveaux plus profonds du B<sub>1</sub>, surtout au cours des années les plus arides. Une fois amorcé, ce processus se propage aussi latéralement, assurant l'autodéveloppement des dépressions, comme cela est représenté sur la figure 6.

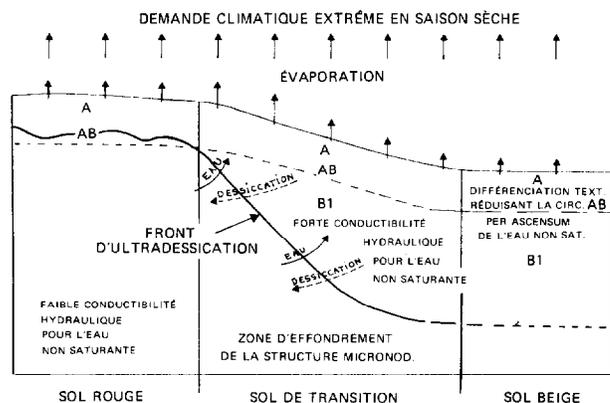


FIG. 6. — Propagation latérale de l'ultradessiccation.

En même temps, cette ultradessiccation est à l'origine d'une agression chimique caractéristique, qui permet la déferrisation des argiles et ainsi leur libération, puis leur redistribution au sein du profil.

Cette redistribution permet alors la différenciation d'horizons et entraîne en particulier :

— « l'allègement » des horizons A et AB, à texture sableuse et porosité largement élevée (sous forêt), responsable d'une réduction des possibilités d'évaporation (effet de mulch),

— l'individualisation d'un horizon illuvial colmaté, à l'origine d'une véritable hydromorphie secondaire, manifestée par une ségrégation importante du fer et de la kaolinite qui gagne les horizons

profonds, tandis que les nodules « enkystés » se transforment en concrétions.

Ces transformations, qui aboutissent à l'individualisation du sol beige, sont représentées de façon schématique sur la figure 7. Elles correspondent

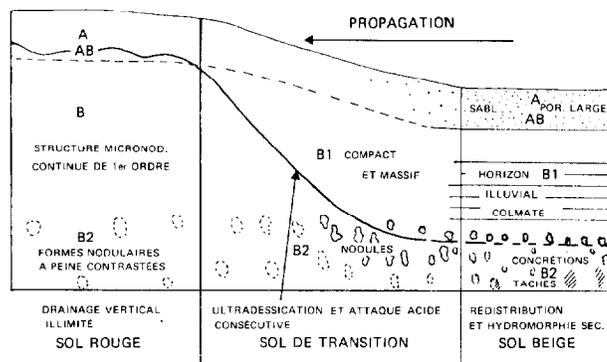


FIG. 7. — Toposéquences différenciées.

à des réorganisations à l'échelle des assemblages, puis à celle des horizons pédologiques et sont à l'origine du développement de toposequences dites « différenciées ».

Il ressort des schémas reportés dans les figures 6 et 7 que :

(1) si la propagation du front d'ultradessiccation, précédant la dislocation de la structure micronodulaire et la dissociation puis la redistribution des constituants argileux, s'effectue à partir des dépressions selon une direction centrifuge, les transformations qui en résultent s'effectuent en sens inverse ;

(2) des modifications topographiques, marquées par le déplacement d'une faible déclivité au niveau du sol de transition, accompagnent cette propagation : elles apparaissent comme une conséquence directe de l'effondrement de la structure micronodulaire suivi de la redistribution des constituants (la dénivelée ne dépasse pas quelques mètres).

#### 4.2. Propagation à l'échelle du paysage

En se fondant sur ces résultats et sur les connaissances relatives à la structure de la couverture pédologique en moyenne Casamance, il devient aisé d'adopter un point de vue diachronique et de pro-

poser ainsi une sorte de reconstitution et de projection possible de l'évolution pédologique et morphologique ; celle-ci sera exprimée sous la forme d'une série de cartes qui représentent les étapes successives de l'évolution du paysage (carte hors-texte).

L'état synchrone actuel, tel qu'il a été reconnu par Tobias (1968), correspond à la carte 3.

On y distingue :

- une auréole de reliefs discontinus à profils convexes occupés par les sols rouges,
- une partie centrale couverte par les sols beiges de plateau,
- une frange étroite de sols de transition (entre les précédents) figurée par un trait noir,
- des vallées latérales dont les têtes se situent au niveau des sols beiges,
- enfin, des versants qui supportent des sols « beiges de pente » remaniés et, localement, là où les niveaux indurés sont mis à jour, des sols peu évolués sur matériaux de démantèlement de cuirasse.

Dans un passé lointain (carte 1) durant une longue période humide (350 000 à 150 000 ans B.P.-Michel, 1970), se seraient formés sur les grès argileux du « Continental terminal » des sols rouges ferrallitiques bien drainés, tandis qu'un écoulement latéral intervenait au niveau des nappes et que le tracé du fleuve et de ses affluents, influencé par un réseau de failles, délimitait la surface des plateaux.

A l'occasion d'une période aride, qui pourrait correspondre à la formation de l'erg ancien selon Boulet (1974) (150 000 à 40 000 B.P.), accompagnée d'une régression du niveau de la mer (carte 2) :

- l'ultradessiccation provoque la formation, puis l'autodéveloppement de sols beiges à partir du centre des plateaux, correspondant à des surfaces légèrement déprimées où se développe l'hydromorphie ;
- l'écoulement latéral qui en est issu, alimente de petits cours d'eau dans les thalweg qui suivent le réseau de failles ;
- le fleuve et ses affluents creusent profondément leurs vallées et étendent leurs versants couverts par les sols « beiges de pente » remaniés ; ils mettent à jour les niveaux indurés d'où proviennent des matériaux de démantèlement ;
- les sols rouges occupent les surfaces convexes ainsi délimitées.

Dans le futur, l'évolution observée actuellement doit se poursuivre (carte 4) :

- les sols rouges ne subsistent que sous forme de petites surfaces « reliques » à la périphérie ;
- les sols « beiges de plateau » qui résultent de leur transformation sont à leur tour gagnés par une érosion régressive à partir des vallées latérales, donnant naissance aux sols « beiges de pente » remaniés.

Cette approche cartographique met plus nettement en évidence ce qui a été dit précédemment à partir des seuls résultats de l'étude effectuée selon l'axe des toposéquences. C'est bien ici une propagation *centrifuge* et une transformation *centripète* à partir du milieu des plateaux, qui caractérise l'évolution de la couverture pédologique et le développement des sols beiges. Ainsi on observe un mode d'évolution dans l'espace de la couverture pédologique assez comparable à celui mis en évidence par Turenne (1975) en Guyane française et tel qu'il a été schématisé par Boulet (1976) (bien que les processus soient ici différents).

## 5. SYNTHÈSE DES DONNÉES ET CONCLUSIONS

La synthèse de l'étude peut se faire par exemple dans un cadre général dont les dimensions sont à la fois celles de l'espace et du temps :

Dans l'espace, la propagation des sols beiges est amorcée à partir de petites dépressions localisées dans la partie centrale des plateaux et développées à la faveur des périodes très arides. Elle se poursuit ensuite par une sorte de *digestion* du matériau, qui a pour effet de dissocier le plasma du squelette et de permettre une réorganisation des constituants ; celle-ci s'accompagne en même temps d'une perte d'argile et de fer et d'un tassement appréciable. Il en résulte que les dépressions s'élargissent et se rejoignent les unes les autres, formant des zones légèrement déprimées occupées par les sols beiges de plateau. Les faibles déclivités qui les délimitent se situent au niveau du sol de transition et se déplacent avec lui, lorsque progresse la toposéquence. *Ces sols de transition correspondent donc à la zone pédologiquement active de la toposéquence.*

Quant à la vitesse de transformation, elle est elle-même dépendante :

— de la quantité d'énergie nécessaire pour venir à bout de la défense du sol rouge, c'est-à-dire pour briser sa microstructure : l'utilisation de tests de stabilité physique et mécanique nous a montré que cette énergie était importante (Chauvel, 1977) ;

— du moteur de l'évolution qui résulte des conditions climatiques réalisées en saison sèche, d'autant plus actives sur le sol que celui-ci est moins protégé par le couvert forestier, intervenant à la fois comme écran (Aubert, 1960) et comme régulateur de l'humidité atmosphérique pour diminuer les contraintes pédohydriques.

Afin d'apprécier les diverses conditions de cette propagation, il est utile d'établir un rapprochement entre les évolutions observées dans l'espace selon l'axe de la toposéquence et celles qui ressortent de la comparaison des sols rouges plus ou moins anciennement défrichés.

Ainsi, le long des toposéquences, il existe dans l'espace une disproportion entre l'extension des sols rouges et des sols beiges et l'étroitesse de la frange occupée par les sols de transition, puisque seule une bande très étroite présente les caractères morphologiques qui indiquent le basculement de l'organisation des sols rouges en sols beiges : il s'agit là de la zone active, dont la largeur est de l'ordre de 20 à 200 mètres.

D'un autre côté, l'évolution dans le temps est marquée par le maintien des sols rouges à l'état métastable tant qu'ils sont conservés sous forêt. Après défrichement, une évolution se déclenche ; elle devient rapide durant quelques dizaines d'années, manifestant une transformation de l'organisation vers celle d'un sol de type beige dont les caractères morphologiques n'apparaissent cependant qu'à l'état d'ébauches ; il s'agit alors de la période active, qui est de l'ordre de quelques dizaines d'années. Ces deux évolutions, dans l'espace et dans le temps, ont été représentées sur la figure 8.

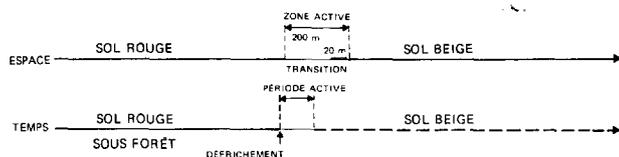


FIG. 8. — Comparaison des évolutions séquentielles du sol rouge dans l'espace et dans le temps.

Une évolution approximative de la vitesse de propagation peut être déduite de ces données. Il apparaît en effet que la première phase de l'évolution, qui correspond en fait à la destruction de la structure micronodulaire, est un phénomène très rapide pour peu que la contrainte d'origine bioclimatique soit suffisamment forte ; à l'inverse, la réorganisation des constituants qui aboutit à la formation du profil différencié du sol beige, nécessite un temps plus important.

Sous forêt, dans des conditions bioclimatiques beaucoup moins agressives, il semble que le front d'ultradessiccation se déplace à la faveur des périodes arides et que sa vitesse soit alors dépendante des énergies mises en jeu. Si de façon quelque peu arbitraire, nous reportons la différenciation du sol beige initial au moment de la formation de l'erg ancien (plus de 40 000 ans B.P. d'après Boulet, 1974), nous constatons qu'une propagation de l'ordre de 2 km (mesurée sur la carte) correspondrait à un déplacement moyen de quelques centimètres par an. La réorganisation du profil de sol beige, observée sur quelques centaines de mètres, nécessiterait alors de un à plusieurs millénaires. Il s'agirait néanmoins d'un processus relativement rapide comparé au développement habituel des sols d'altération et en particulier des sols rouges ferrallitiques.

## CONCLUSION

La genèse des sols beiges de moyenne Casamance ne résulte pas, comme celle de beaucoup d'autres types de sols, d'une évolution géochimique et cristalochimique à polarité verticale, mais de la transformation de sols ferrallitiques préexistants sous l'influence d'un climat marqué par des périodes très sèches.

Cette transformation est de nature toposéquentielle, c'est-à-dire qu'elle se manifeste essentiellement de manière latérale, comme toutes les autres transformations étudiées jusqu'à ce jour dans la zone intertropicale : Bocquier (1971), Boulet (1974), Chevry (1974), Turenne (1975)... Sa spécificité réside simplement dans le fait que le développement de type latéral ne fait appel à aucun flux liquide ; qu'il ne fait intervenir, au moins dans sa première phase (qui est la phase capitale) aucun transfert de matière solide, ni verticalement, ni même laté-

ralement et qu'il s'amorce toujours au point de moindre pente du paysage (sur les plateaux). Il n'est donc pas question ici, de la propagation d'un flux liquide de l'amont vers l'aval sous l'influence de la gravité, permettant à l'aval de gagner sur l'amont, mais du déplacement centrifuge d'un front d'humidité (ou de dessiccation) responsable de la transformation, par suite d'un transfert d'eau qui s'effectue en phase gazeuse et de manière centripète.

La spécificité de cette transformation tient encore au fait que les dépressions, créées dès le début du phénomène, résultent de l'effondrement de la structure du sol ferrallitique sous l'action de l'ultra-dessiccation, et donc d'un simple tassement. Ce n'est que dans une seconde phase que le développement de ces dépressions tend à se faire plus classiquement, c'est-à-dire par extraction et soutirage de matière solide.

Ainsi, bien que les transformations latérales des sols ordonnées en toposéquences soient maintenant bien établies, celle dont il est question ici présente néanmoins une certaine singularité du fait de la nature même des phénomènes qui sont en cause, des conditions de leur mise en œuvre et enfin des modalités de leur propagation.

#### REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient M. E. Servat, Directeur du Service d'Etude des Sols (INRA-Montpellier) d'avoir accepté de faire réaliser bénévolement la carte en couleur jointe à cet article. Les remerciements s'adressent aussi à M. Cornet du Bureau de Dessin, qui a assuré la réalisation rapide du document cartographique présenté.

*Manuscrit reçu au Service des Publications de l'ORSTOM le 27 octobre 1978*

#### BIBLIOGRAPHIE

- AUBERT (G.), 1960. — Influence de la végétation sur le sol en zone tropicale humide et semi-humide — in « Rapport du sol et de la végétation », pp. 11-12, Masson éditeur, Paris.
- AUBERT (G.), 1965. — Classification des sols. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. III, n° 3 : 269-288.
- BALDENSPERGER (J.), STAIMESSE (J.-P.), TOBIAS (C.), 1968. — Notice explicative et carte pédologique du Sénégal - Moyenne Casamance - Centre ORSTOM de Dakar, *multigr.*
- BERTRAND (R.), 1971. — Morpho-pédologie et orientations culturelles des régions soudaniennes du Sine-Saloum (Sénégal) - Rap. I.R.A.T., S.O.D.E.V.A., République du Sénégal, 229 p. *multigr.*
- BERTRAND (R.). — Contribution à l'étude hydrologique, pédologique et agronomique des sols gris sableux hydromorphes de Casamance (Sénégal). *Agron. trop.*, vol. XXVIII, n° 12 : 1145-1192.
- BOCQUIER (G.), 1971. — Genèse et évolution de deux toposéquences de sols tropicaux du Tchad. Interprétation biogéodynamique. Thèse Sci. Strasbourg et *Mém. ORSTOM*, n° 62, 1973, 350 p.
- BOCQUIER (G.) et NALOVIC (L.), 1972. — Utilisation de la microscopie électronique en pédologie. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. X, n° 4 : 411-434.
- BOULET (R.), 1974. — Toposéquences de sols tropicaux en Haute Volta. Equilibres dynamiques et bioclimats. Thèse Sci. Strasbourg et *Mém. ORSTOM*, n° 85, 1978.
- BOULET (R.), 1976. — Aperçu sur le milieu pédologique guyanais. Caractères originaux et conséquences sur la mise en valeur. Centre ORSTOM de Cayenne, p. 149, *multigr.* 36 p.
- CHAUVEL (A.), 1977. — Recherches sur la transformation des sols ferrallitiques dans la zone tropicale à saisons contrastées. Thèse Sci. Strasbourg et *Trav. et Docum. ORSTOM*, n° 62, 532 p.
- CHAUVEL (A.), BOCQUIER (G.) et PEDRO (G.), 1978. — La stabilité et la transformation de la microstructure des sols rouges ferrallitiques de Casamance (Sénégal). Analyse microscopique et données expérimentales. Vth. Internat. Meet. Soil. Micro-morph. Grenade-1977 (sous presse).
- CHAUVEL (A.) et PEDRO (G.), 1978. — Sur l'importance de l'extrême dessiccation des sols (ultradessiccation) dans l'évolution pédologique des zones tropicales à saisons contrastées. *C.R. Acad. Sc.*, Paris (sous presse).
- CHEVERRY (C.), 1974. — Contribution à l'étude pédologique des polders du lac Tchad. Dynamique des sols en milieu continental subaride dans des sédiments argileux et organiques. Thèse, Strasbourg, *multigr.* 275 p.
- COINTEPAS (J.-P.), 1960. — Bilan des études chimiques et pédologiques entreprises à la Station Expérimentale de Séfa (Casamance-Sénégal) Rapp. *multigr.* Tunis, 110 p.
- FAUCK (R.), 1970. — Evolution des quartz dans les sols rouges ferrallitiques développés sur les roches sableuses et gréseuses de l'Afrique occidentale. *C.R. Acad. Sci.*, Paris, t. 271, n° 25 : 2273-2276.
- FAUCK (R.), 1971. — Les sols rouges sur sables et sur grès d'Afrique occidentale. Thèse Sci. Strasbourg. *Mém. ORSTOM* n° 61, 1972, 257 p.
- FAUCK (R.), TURENNE (J.F.) et VIZIER (J.F.), 1963. — Etude pédologique de la Haute Casamance. Rap. ORSTOM, Dakar, Ministère de l'Economie rurale et de la coopération, République du Sénégal, 1 carte, rap. *multigr.* 181 p.
- FAUCK (R.), MOUREAUX (Cl.), THOMANN (Ch.), 1969. — Bilan de l'évolution des sols de Séfa (Casamance-Sénégal) après quinze années de culture continue. *Agron. trop.*, vol. XXIV, n° 3 : 263-301.

- HUMBEL (F.X.), 1976. — L'espace poral des sols ferrallitiques du Cameroun ; caractéristiques et comportements en relation avec les régimes hydriques et les bioclimats. Thèse Sci. Paris VI. *Trav. et Docum. ORSTOM*, n° 54, 306 p.
- MAIGNIEN (R.), 1961. — Le passage des sols ferrugineux aux sols ferrallitiques dans les régions sud-ouest du Sénégal (République du Sénégal). *Sols africains*, VI, 2 et 3 : 113-228.
- MAIGNIEN (R.), 1965. — Carte pédologique du Sénégal au 1/1000 000. *Notice explicative, ORSTOM*, Paris, 63 p.
- MICHEL (P.), 1970. — Chronologie du quaternaire des bassins des fleuves Sénégal et Gambie. Essai de synthèse (2<sup>e</sup> partie). *Bull. ASEQUA*, Dakar, n° 26, juin, p. 25-37.
- MORTLAND (M.M.), 1968. — Protonation of compounds at clay mineral surfaces. *Transactions IX<sup>o</sup> Int. Cong. Soil Sciences*, Adelaïde (Australie) vol. I, p. 691-699.
- PIERI (C.), 1969. — Etude pédologique de la région de Nioro du Rip - IRAT, CNRA, Bambey, Sénégal, 131 p. *multigr.*, 2 cartes.
- SEGUY (L.), 1969. — Etude pédologique du bassin versant de Salikénié en moyenne Casamance - CNRA Bambey, Sénégal, *multigr.*, 1 carte.
- SIBAND (P.), 1974. — Evolution des caractères et de la fertilité d'un sol rouge de Casamance, Bambey, IRAT, CNRA, Sénégal, 31 p.
- STOOPS (G.), 1968. — Micromorphology of some characteristic soils of the lower Congo (Kinshasa). *Pédologie*, 18 : 110-149.
- TOBIAS (C.), 1965. — Contribution à l'étude du passage des sols beiges aux sols rouges : étude d'une toposéquence dans la région de Séfa (Casamance-Sénégal) ORSTOM, Dakar, *multigr.* 113 p.
- TURENNE (J.F.), 1975. — Modes d'humification et différenciation podzolique. Thèse Sci. Nancy et *Mém. ORSTOM* n° 84, 1977, 173 p.