

## Bilan et perspectives de l'analyse structurale en Guyane

René Boulet  
ORSTOM - Bondy

Après avoir passé en revue les principaux apports de l'analyse structurale à la connaissance de la pédogénèse, on montre que cette démarche apporte un effet de synergie dans le cadre des études multidisciplinaires. Elle débouche également sur une cartographie à toute échelle des couvertures pédologiques. Enfin, on examine quelques retombées appliquées (agronomie, géologie minière), ainsi que l'extension de cette démarche dans les pays voisins, à partir de la Guyane.

### 1 - BREF HISTORIQUE ANECDOTIQUE

Pourquoi a-t-on été amené à passer de l'étude bidimensionnelle précise le long d'un versant complet, initiée par BOCQUIER, à l'analyse structurale à l'échelle de l'unité de modelé élémentaire ?

En effet, au début de notre séjour en Guyane, nous continuâmes, HUMBEL et moi, à travailler en toposéquences, ce qui nous apporta maintes informations nouvelles sur la genèse et la dynamique des couvertures pédologiques très contrastées de Guyane, et nous satisfait.

Curieusement, ce fut à la demande d'un agronome que nous dûmes sortir de cette satisfaction. Cet agronome faisait des expérimentations en blocs sur barres pré littorales, et ne parvenait pas à interpréter ses résultats. Nous lui montrâmes facilement que les variations morphologiques et leurs implications hydrodynamiques sur un transect longitudinal dans son essai étaient bien trop fortes pour que l'effet des traitements testés soit perceptible. Et de lui dessiner ces variations en coupe verticale. Il fut intéressé car il put ainsi comprendre son insuccès, mais il nous dit que ses plantes poussaient en surface et que les coupes ne lui permettaient pas de référer le comportement des cultures aux variations pédologiques. C'est pour résoudre ce problème que l'on en vint à rechercher la projection sur le plan horizontal des limites des différents horizons ou volumes délimités sur les coupes verticales. Ces

courbes sont appelées courbes d'isodifférenciation. On découvrit du même coup que cette projection nous apportait un outil de démonstration pédologique nouveau, souvent indispensable, pour comprendre la genèse et la dynamique des couvertures pédologiques.

## **2 - PRINCIPAUX APPORTS DE L'ANALYSE STRUCTURALE À LA CONNAISSANCE DE LA PÉDOGÈNE**

### **A. Passage des sols ferrallitiques aux podzols (sur sédimentaire ou supposé tel) :**

Ce passage s'observe à la fois sur barres pré littorales constituées de sédiments marins vieux d'environ 125 000 ans et sur une formation continentale détritique appelée Série détritique de base (dont L. VEILLON nous montrera dans sa thèse qu'elle peut être une formation pédologique). Il fut d'abord étudié très finement par J.-F. TURENNE du point de vue analytique et en particulier en ce qui concerne la matière organique. Mais l'étude morphologique en coupe restait encore discontinue, au contraire de la répartition des constituants et des caractères physico-chimiques, qui, par le biais des courbes isovaleur, révélaient déjà des structures très intéressantes.

La reprise des études morphologiques sur barres pré littorales par exemple, permet de mieux préciser la succession des transformations morphologiques à partir du sol ferrallitique (figures 1 et 2) : appauvrissement en argile des horizons supérieurs associé à un éclaircissement. L'absence d'argilanes dans les horizons sous-jacents milite en faveur d'une hydrolyse de l'argile. Apparition d'une limite abrupte entre l'horizon appauvri et l'horizon B sablo-argileux rouge jaune sous-jacent. Cette limite abrupte est un front de transformation du B, qui laisse derrière lui des reliques de ce B.

En allant vers le centre de la barre, le contraste textural et de porosité devient de plus en plus abrupt et important et retient une nappe perchée fugace mais qui joue un rôle important dans la transformation du B et la concentration de l'eau au centre du système.

En même temps, les reliques du B se transforment en nodules. L'horizon appauvri devient jaune de plus en plus pâle et sableux. A un seuil d'environ 4 % d'argile, apparaît en coin, au contact du B sous-jacent, du sable blanc dont la limite supérieure remonte et atteint rapidement la surface. L'accumulation de matière organique apparaît au sommet du B, quelques mètres avant les sables blancs, mais s'accroît à leur base où elle s'accompagne d'une accumulation de fer plus ou moins indurée. Le stade podzolique est alors atteint et va se développer jusqu'à faire disparaître l'horizon B jaune rouge. Au centre du système se développe alors une mare.

La concordance entre les courbes d'isodifférenciation qui repèrent en plan ces transformations montre que celles-ci sont ordonnées. D'autres déductions peuvent être faites à partir de cette projection. Ainsi constate-t-on qu'il existe **deux types d'axe de drainage** : ceux qui sont concordants avec les courbes et sont antérieurs à la différenciation du système de transformation. Ils sont en fait contemporains du dépôt. D'autres partent du centre du système, recoupent sa structure concentrique et lui sont donc postérieurs. On vérifie que ces derniers résultent du débordement localisé de la nappe affleurante centrale. Lorsque ces axes de drainage s'enfoncent et que leurs versants sont plus inclinés, des différenciations pédologiques secondaires à ces nouveaux axes de drainage apparaissent, avec lesquelles elles sont concordantes. De même, ces axes de drainage découpent les barres pré littorales et contribuent à leur applanissement.

De ces travaux, on peut également déduire la séquence d'évolution pédologique des barres pré littorales à partir du stade ferrallitique, résumé ici en cinq schémas (figure 3) dont le premier correspond au stade ferrallitique, le second à l'appauvrissement central et périphérique, le troisième à l'apparition du front de transformation, le quatrième à l'apparition du podzol, le cinquième à la généralisation de ce dernier. Nous verrons que cette séquence constitue un précieux outil de cartographie.

Sur Série détritique de base (figure 4), le même type d'étude aboutit également à une séquence évolutive qui présente des analogies avec la précédente, mais s'en distingue, entre autres, par l'échelle de l'interfluve, qui est ici d'ordre kilométrique alors qu'elle n'était qu'hectométrique sur barre pré littorale. A noter également que la transformation s'accompagne, au centre et à la base du système, d'une **néoformation** importante de **kaolinite très pure**, qui est nourrie par l'hydrolyse de la couverture ferrallitique.

Ces résultats seront prochainement considérablement enrichis et en partie modifiés dans sa thèse par L. VEILLON.

## B. Systèmes à basculement du drainage (socle)

Les études les plus détaillées ont été réalisées sur schiste, dans le cadre de l'opération ECEREX. Je n'ai pas le temps de présenter ces travaux, mais ils aboutirent également à l'établissement d'une séquence d'évolution pédologique (figure 5).

La couverture initiale ferrallitique (stade 1) présente un horizon micro-agrégé brun rouge épais de plus de 1,5 m, riche en nodules ferrugineux lithorelictuels, passant progressivement à un horizon altéritique rouge violacé riche en muscovites. Par suite d'un abaissement relatif du niveau de base (en réalité lié à un léger soulèvement tectonique du socle guyanais), l'horizon micro-agrégé s'amincit à partir de l'aval. Lorsque son épaisseur

devient insuffisante (< 1,5 m) pour qu'il puisse assurer son rôle tampon dans l'absorption des pluies, des saturations en eau se produisent au sommet de l'horizon "rouge compact" (appelé "argileux rouge" sur la figure 5), et une circulation latérale de l'eau s'installe à ce niveau. C'est le basculement du drainage (stade 2).

Cette zone de basculement du drainage remonte vers l'amont et atteint le sommet d'interfluve. L'ensemble de la couverture est alors à drainage principalement superficiel (stade 3).

Par suite de l'érosion géochimique induite par cette circulation latérale, la couverture pédologique superficielle s'enfonce dans la couverture initiale et l'horizon "rouge compact" régresse vers l'amont (stade 4) puis disparaît (stade 5) en même temps qu'à l'aval réapparaît une nappe phréatique, qui affleure au stade 5 et contribue à l'écoulement du bassin.

**Sur migmatite**, on aboutit à une séquence sensiblement analogue, si ce n'est qu'au stade 1'on n'observe pas de nodules, ceux-ci n'apparaissant qu'après le basculement du drainage, et que le stade final aboutit, comme sur schiste, à la différenciation de dépressions métriques, à la base desquelles se développent des poches sableuses, d'environ deux mètres de diamètre, à différenciation podzolique très nette.

Les travaux évoqués ici sont déjà anciens, mais ils n'en font pas moins partie du bilan, et il faut les rappeler. Des travaux plus récents sont allés beaucoup plus loin. H. ROBAIN vous parlera du système de transformation qu'il a étudié et qui, à partir des sols à drainage principalement superficiel, aboutit à des sols poreux, mais qui présentent une hydromorphie importante de surface. D'autres, comme ceux de E. FRITSCH, sont disponibles dans la littérature, ou vont être présentés sous forme de thèse (L. VEILLON).

### C. Hors de Guyane

Quittant la Guyane pour l'Amazonie brésilienne, Y. LUCAS nous montre sur les plateaux situés au nord de Manaus, l'évolution d'une couverture argileuse épaisse à partir d'un sédiment sablo-argileux par turnover de l'aluminium et perte de silice, ainsi que l'évolution géochimique, en bordure et à partir du plateau, de surfaces inclinées sur lesquelles réapparaît la transformation sol ferrallitique-podzol, ce qui suppose non seulement une perte de silice comme sur le plateau, mais aussi une perte d'aluminium. Par ailleurs, en étudiant à Juruti et Trombetas les relations structurales de l'échelle du plateau à celles des minéraux, il reconstitue l'évolution des bauxites sur sédimentaire sablo-argileux et modifie complètement les interprétations antérieures de type sédimentaire. Il faut souligner que ce sont les relations entre horizons qui lui apportèrent les arguments les plus démonstratifs. Il montre également l'intervention simultanée d'un enfoncement vertical et de

transformations latérales dans la mise en place des systèmes de sol de la zone tropicale humide.

### 3 - RELATION SOL-MODELÉ

Ces relations ont pu être étudiées car on a toujours associé l'analyse structurale à un levé topographique détaillé. Un premier fait apparaît que la pédogenèse, à travers ce type d'étude, se révèle souvent, en particulier dans les zones tropicales humides, comme un des agents principaux de la formation du modelé. Cependant, les relations entre différenciation pédologique et topographique ne sont pas toujours perceptibles sur photo aérienne et nécessitent alors des vérifications sur le terrain. Mais celles-ci sont rapides, dans la mesure où les couvertures pédologiques correspondantes ont déjà fait l'objet d'une analyse structurale.

### 4 - LES APPORTS DE L'ANALYSE STRUCTURALE DANS LE CADRE D'UNE ÉTUDE MULTIDISCIPLINAIRE

#### A. Hydrologie

En 1978, au début de l'étude ECEREX les hydrologues ne disposaient, comme moyen de pronostic du comportement hydrologique des bassins versants, que de critères géologiques. Or les premiers résultats d'ECEREX montraient, sur une même roche-mère, des schistes des écoulements annuels variant de 11 à 57 %.

L'interprétation pédologique déduite de l'analyse structurale, permet d'expliquer ces variations en établissant une régression linéaire entre le pourcentage des sols à drainage vertical libre et les écoulements annuels avec un coefficient de corrélation de 0,99. Il s'agissait là d'une première qui passa inaperçue. Le facteur "pente" n'apparaissait que comme un facteur très secondaire. Inversement, ces données hydrologiques venaient étayer précieusement les hypothèses déduites de l'analyse structurale.

#### B. Comportement hydrodynamique et géochimique

Le calage des mesures hydriques sur la structure de la couverture meuble permet une étude plus efficace de la dynamique de l'eau. Ainsi J.-M. GUEHL a démontré et précisé les modalités du basculement du drainage sur pegmatite à ECEREX. M. GRIMALDI caractérise et quantifie la porosité des principales organisations élémentaires et est en train de faire un bilan quantitatif des flux hydriques, tandis que C. GRIMALDI en étudie la composition géochimique.

### C. Relation sol-biosphère

Dans ces travaux, J.-F. TURENNE a étudié très finement la matière organique des systèmes sol-ferrallitique-podzol et plus sommairement celle des bassins versants ECEREX ; mais l'absence ultérieure d'un spécialiste de la matière organique dans l'équipe a fait défaut et ce facteur, à la fois conséquence et cause de la pédogénèse, reste insuffisamment étudié. Par contre, en ce qui concerne le couvert végétal, l'étude statistique de la relation sol-flore forestière par J.-P. LESCURE a été positive, mais reste critiquée à cause de l'insuffisance des échantillons de forêt étudiés. Elle est poursuivie actuellement sur de plus grandes surfaces. Cependant, sur barre pré littorale, on a constaté que la limite forêt-savane est discordante sur la structure du système de transformation pédologique. Ceci s'explique par l'existence d'une **séquence végétale chronologique de passage de la forêt à la savane aboutissant à une végétation édaphique stable qui est fonction du pédo-climat**. On peut en déduire l'origine anthropique de ces savanes mais aussi que cette limite forêt-savane ne peut aider à la cartographie des sols.

### 5 - IMPLICATIONS CARTOGRAPHIQUES

Les diverses séquences évolutives des couvertures pédologiques présentées précédemment constituent un outil de cartographie, car on peut identifier le stade d'évolution de chaque interfluve à l'aide de sondages peu nombreux, localisés en fonction de la structure de la couverture pédologique étudiée antérieurement par analyse structurale (figure 6). Ici au-dessus, est présentée une cartographie au 1/10 000 de barres pré littorales par identification des stades d'évolution de chaque transect parcouru. Au-dessous, une cartographie au 1/50 000 où l'on a dû regrouper les stades d'évolution par suite de la diminution d'échelle, entraîne évidemment une cartographie moins détaillée, mais on ne perd pas d'information au niveau du contenu pédologique, puisque quelle que soit l'échelle, il se réfère à l'analyse structurale détaillée des couvertures pédologiques cartographiées. Il est bien évident que lorsqu'on rencontre une couverture pédologique nouvelle, son étude détaillée doit être entreprise. Mais l'expérience montre jusqu'à maintenant que le nombre de couvertures pédologiques d'une région pourtant très complexe comme le nord de la Guyane est peu élevé.

### 6 - RETOMBÉES APPLIQUÉES DE L'ANALYSE STRUCTURALE

#### A. Agronomie

Comme le réclamait notre collègue agronome cité précédemment, la projection sur le plan horizontal de la structure de la couverture pédologique, nécessairement explicitée par des coupes verticales, permet de référer les variations de comportement d'une culture à la différenciation pédologique

verticale. Nous verrons (figure 7) rapidement les résultats d'un tel essai concernant le soja sur barre pré littorale, en dissociant divers facteurs du rendement : levée, gousses par pied, rendement. On constate que la meilleure levée se situe du côté du pôle ferrallitique le mieux drainé, et la plus mauvaise sur le podzol où l'eau stagne en surface. Mais il se produit un phénomène de compensation dans la partie médiane du système par augmentation du nombre de gousses par pied. Le rendement s'en trouve à tel point augmenté que c'est dans cette zone intermédiaire du système qu'il est plus élevé. L'étude du système racinaire montre que ceci s'explique par les variations du pédoclimat (accumulation d'eau à moyenne profondeur se maintenant en période sèche). Mais il n'empêche qu'à priori le pédologue faisait un pronostic agronomique privilégiant le pôle ferrallitique (tableau I).

**Tableau I** : Expérimentations agronomiques calées sur l'analyse structurale en Guyane française.

<p>Étude du comportement des pâturages en fonction du type de drainage sur une couverture mixte sur migmatite.</p> <p style="text-align: right;">Collaboration INRA.</p>
<p>Étude du comportement du soja et du maïs (avec essai de travail du sol pour ce dernier) sur système sol ferrallitique-podzol sur barre pré littorale.</p> <p style="text-align: right;">Collaboration IRAT.</p>
<p>Étude de la régénération des pâturages par une sole de culture annuelle ou par travail du sol sur système ferrallitique-podzol sur barres pré littorales.</p> <p style="text-align: right;">Collaboration INRA-IRAT.</p>
<p>Étude du comportement du manioc sur couverture appauvrie ternie sur série détritique de base.</p> <p style="text-align: right;">Collaboration UTAP région Guyane.</p>

## B. Géologie des concentrations minérales supergènes

Nous avons déjà cité les travaux de Y. LUCAS sur les bauxites sur roche sédimentaire. On rappellera également l'explication des concentrations de kaolinite très pure à la base des systèmes ferrallitiques-podzol sur série détritique de base. Cette kaolinite, prospectée par le BRGM doit être exploitée pour la céramique.

## 7 - DÉVELOPPEMENT DE L'ANALYSE STRUCTURALE À L'ÉTRANGER À PARTIR DE LA GUYANE

A Cuba, malgré l'étude très intéressante d'une doline les pédologues de ce pays n'ont apparemment pas continué à appliquer cette démarche. Au Pérou, L.VEILLON a effectué au cours de plusieurs missions annuelles une étude en coopération (cahiers de pédologie). Au Brésil méridional, de nombreuses études sont menées à partir de l'analyse structurale dans des buts divers : compréhension des phénomènes d'érosion, des glissements de terrain, de la compaction etc. Mais pratiquement chacune d'elle fait apparaître des nouveautés pédogénétiques (tableau II).

Tableau II : Principaux travaux entrepris au sud du Brésil sur la base de l'analyse structurale.

<b>CUNHA</b> (Serra do Mar) : Étude d'un bassin versant sur gneiss <i>nouveauté pédologique</i> : formation d'horizons argilo-sableux au sein d'altérites sableuses quartzo-gibbsito-kaoliniques et qui induisent des flux hydriques latéraux.
<b>GUAIRA</b> (NO de S.P.) : Basalte - Formation de matériaux argileux microagrégés (latosol) à partir d'une cuirasse. Compaction sous l'effet des cultures.
<b>LONDRINA</b> (Paraná) : Basalte - Séquence sol microagrégé ( <i>amont</i> ) → sol polyédrique puis prismatique ( <i>aval</i> ). Séquence inverse de celle étudiée à Riberan Preto (NO de S.P. )
<b>PAULINIA</b> (NO de S.P. ) : Sédimentaire - Influence de l'évolution du modelé sur celle de la couverture pédologique.
<b>MARILIA</b> (NO de S.P. ) : Sédimentaire - Formation de sols à horizons sableux avec raies à partir de latosols argilo-sableux.
<b>BAURU</b> (NO de S.P.) : Sédimentaire - <i>Idem</i> avec un modelé différent.
<b>UBERLANDIA</b> (M.G.) : Sédimentaire - Formation de sols microagrégés rouges (latosols) à partir de matériaux blancs et jaunes par suite du surcreusement d'une ravine d'origine probablement anthropique.



## 8 - CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Ces résultats montrent la fécondité de cette approche qui contrebalance l'investissement en temps et en minutie qu'exige une analyse structurale précise. Ils sont résumés dans le tableau III. Actuellement l'équipe de Cayenne se trouve réduite à trois chercheurs dont un vacataire (R. BARTHES). Les programmes de C. et M. GRIMALDI devraient se terminer sur le terrain en 1991, pour être achevés en France. Les programmes de recherche de base envisagés seront donc achevés. La poursuite du travail pédologique sera alors à vocation appliquée dans la mesure où BARTHES pourra être recruté par l'ORSTOM. Ce dernier s'est en effet consacré, après avoir participé aux recherches de base, à l'application agronomique de celle-ci et à leur vulgarisation, ce qu'il fait, me semble-t-il, avec particulièrement de bonheur. Ce pôle de recherche de base devrait se déplacer au Brésil avec A. CHAUVEL, Y. LUCAS et moi-même. Nous avons vu une liste de travaux déjà entrepris, liste incomplète puisqu'il y manque les travaux de A. CHAUVEL, et ceux commencés récemment par Y. LUCAS. Mais cette liste apparaît déjà assez riche et implique également la participation de nombreux chercheurs brésiliens.

**Tableau III : Bilan de l'analyse structurale en Guyane.**

<b>TABLEAU RÉCAPITULATIF</b>	
Principaux apports de l'analyse structurale à la connaissance de la pédogenèse	
<b>1. Passage des sols ferrallitiques aux podzols</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Établissement de la séquence d'organisation de cette transformation sur barre pré littorale.</li> <li>- Apport à la connaissance de la dynamique de l'eau.</li> <li>- Rôle de la transformation dans l'évolution du réseau de drainage et du modelé des barres.</li> <li>- Établissement d'une séquence pédologique évolutive des couvertures pédologiques. Sur série détritique de base, mêmes types de résultats qui seront considérablement augmentés et en partie modifiés dans la thèse de L. VEILLON.</li> </ul>
<b>2. Passage des sols ferrallitiques à drainage vertical libre aux sols poreux et à drainage principalement superficiel</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Séquence évolutive des couvertures pédologiques.</li> <li>- Passage des sols à drainage principalement superficiel à des sols poreux et à drainage vertical : H. ROBAIN.</li> <li>- Évolution des plateaux à sols ferrallitiques argileux du nord de Manaus et reconstitution de la genèse des bauxites amazonniennes sur sédimentaire : Y. LUCAS.</li> </ul>
<b>3. Relation sol-modelé</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rôle accru de la pédogenèse dans l'évolution du modelé.</li> </ul>

**EFFET DE SYNERGIE DE L'ANALYSE STRUCTURALE  
DANS LES ÉTUDES MULTIDISCIPLINAIRES**

- 1. Hydrologie** : relation sol-écoulement ; M. A. ROCHE, J.-M. FRITSCH.
- 2. Études hydrodynamiques et géochimiques** : J.-M. GUEHL, C. et M. GRIMALDI.
- 3. Relation sol-biosphère** : J.-M. TURENNE, J.-P. LESCURE.

**IMPLICATIONS CARTOGRAPHIQUES**

Un nouvel outil cartographique, le type de couverture pédologique et son stade d'évolution.

**RETOMBÉES APPLIQUÉES**

- 1. Agronomie** : Intérêt du calage des expérimentations agronomiques sur la projection sur le plan horizontal de la couverture pédologique.
- 2. Géologie des concentrations minières supergènes** (bauxite, kaolinites...).

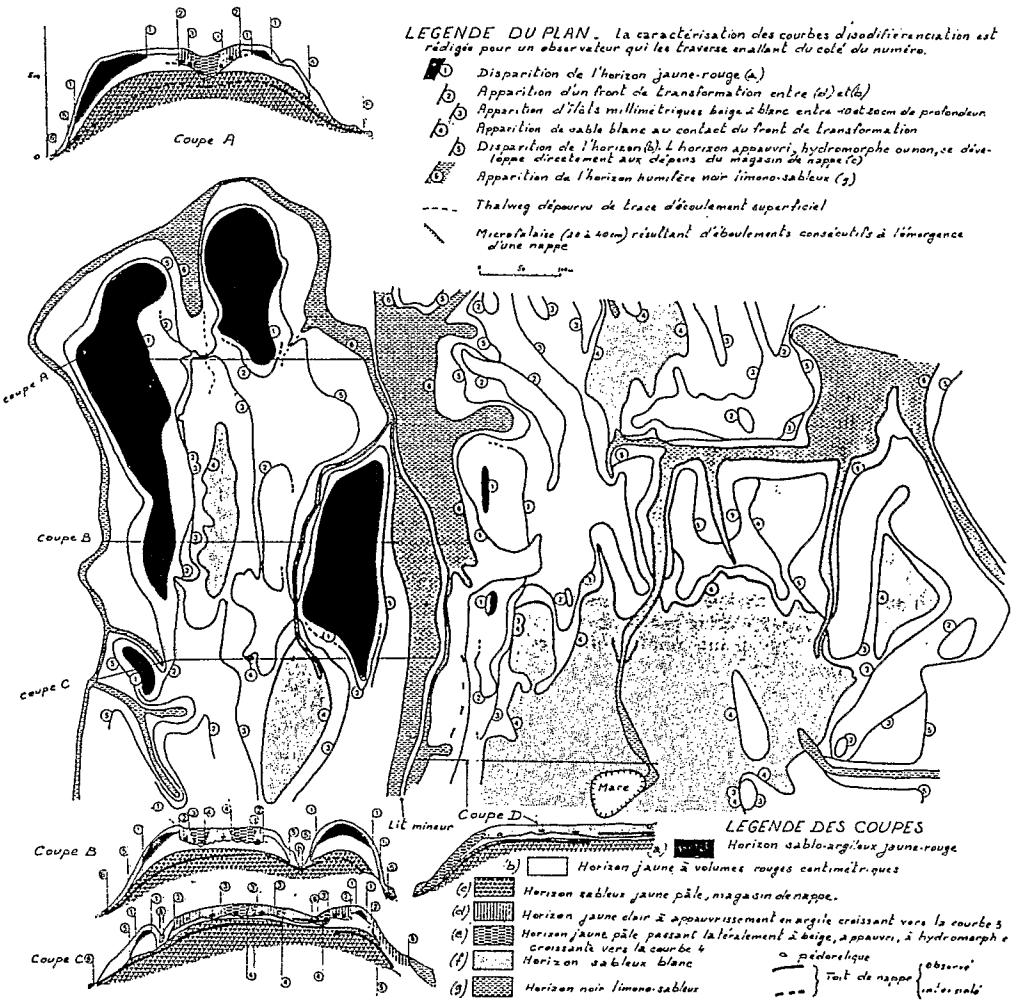


Figure 1 : Représentation en coupes et plans de barres pré-littorales.

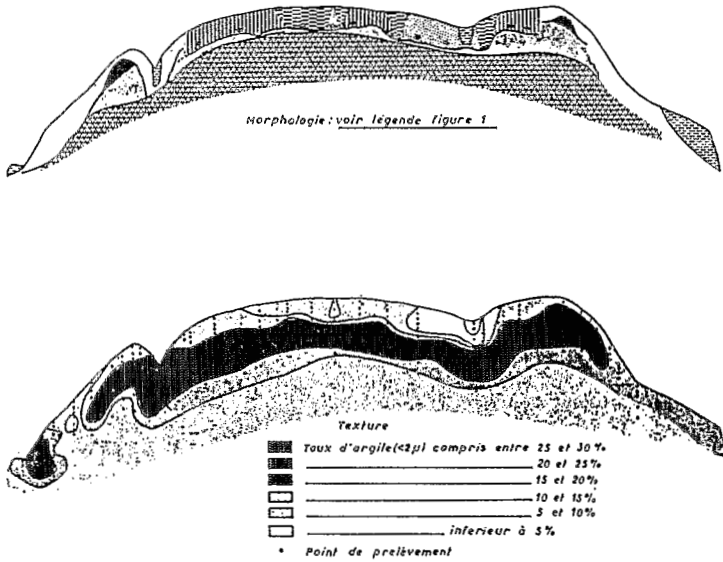


Figure 2 : Variations texturales au sein du transect C de la figure 1.

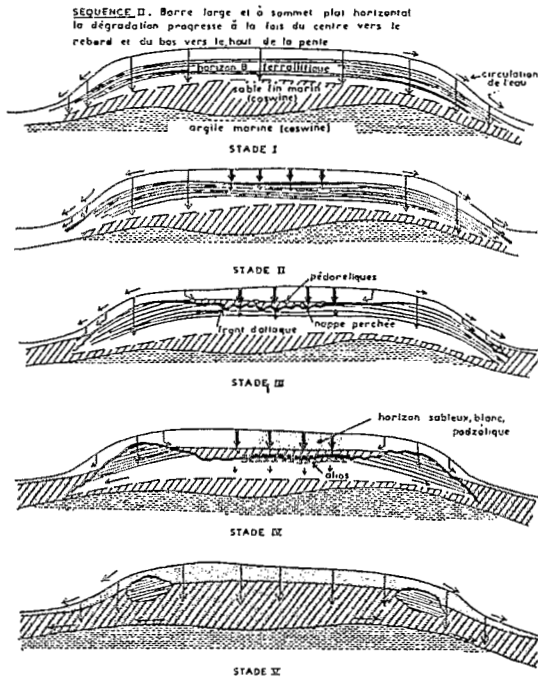
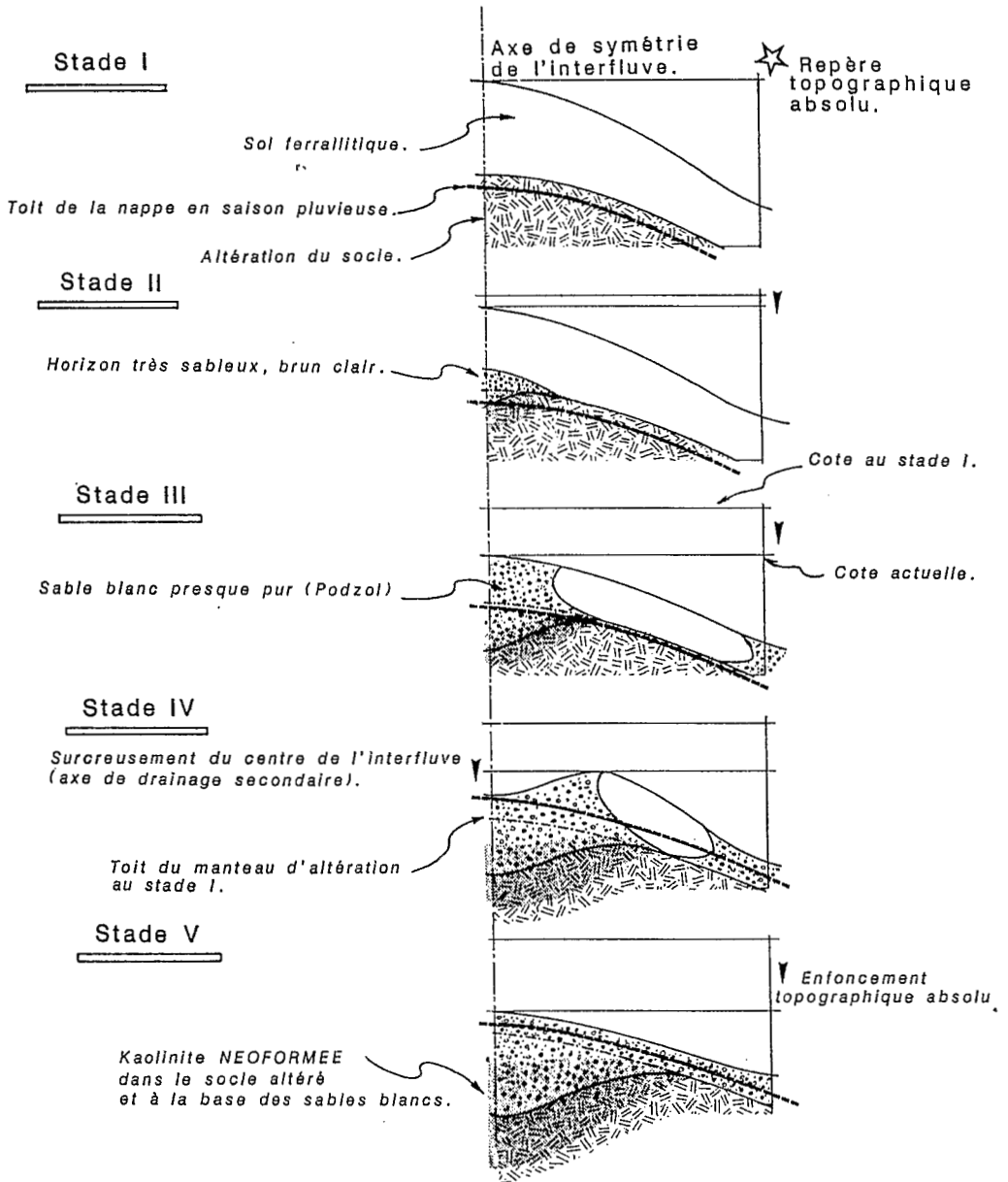


Figure 3 : Stades d'évolution des barres pré littorales.



**Figure 4 :** Transformations d'un interfluve à sols ferrallitiques en interfluve podzolisé. (ORSTOM, Cayenne : R. BOULET, L. VEILLON, Y. LUCAS.)

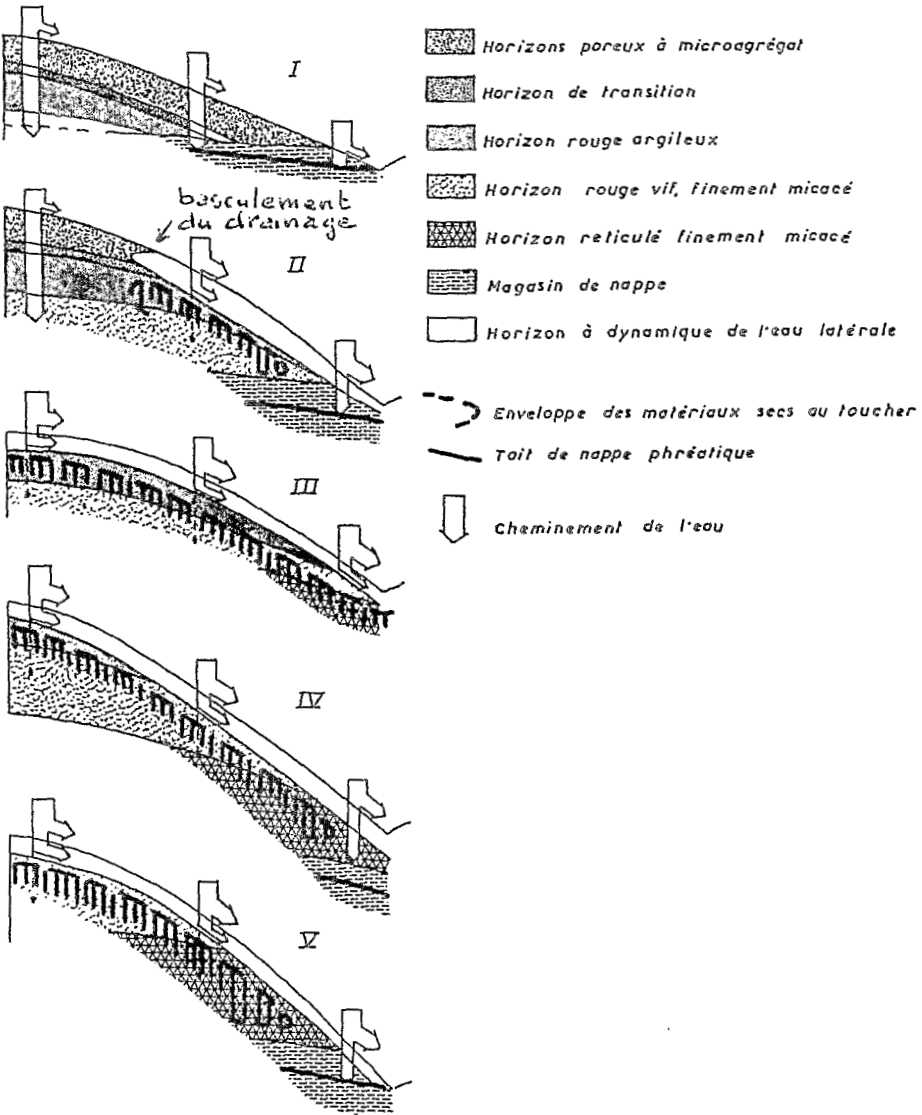


Figure 5 : Schéma des différents stades d'évolution des couvertures pédologiques sur schistes Bonidoro.

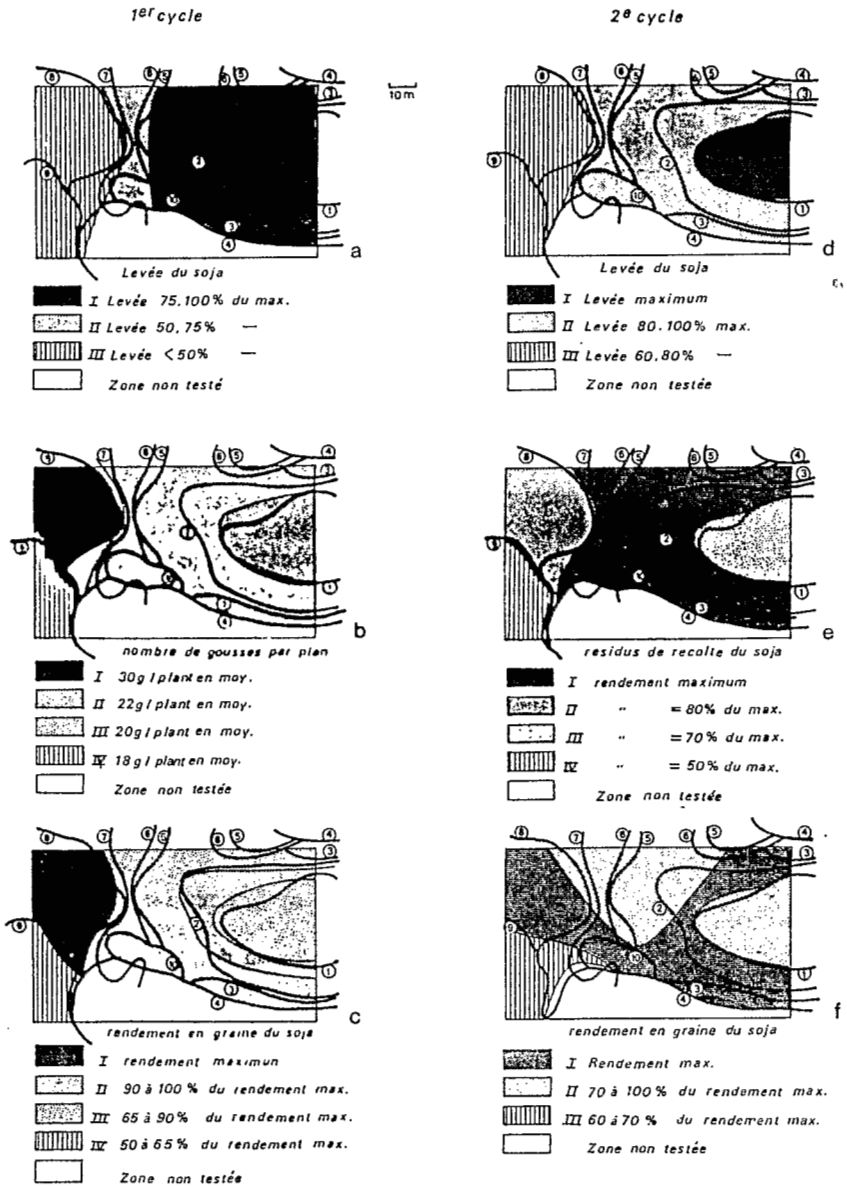


Figure 6 : Comportement du soja aux divers stades.