

# UN SYSTEME PLANOSOL-SOL HYDROMORPHE EN FORET D'ORLEANS

M. LAMOTTE <sup>(1)</sup>, A. BRUAND <sup>(2)</sup>, O. DUVAL <sup>(2)</sup>, F.X. HUMBEL <sup>(1)</sup>

## RESUME

*Ce travail concerne l'étude en forêt d'Orléans d'une couverture pédologique développée sur des formations d'origine fluviale du Burdigalien. L'analyse à différentes échelles des relations structurales et fonctionnelles entre horizons a été conduite à partir de deux toposéquences où l'on peut observer le passage de l'amont vers l'aval, entre des sols à fonctionnement planosolique et d'autres marqués par l'hydromorphie.*

*Dans les domaines planosoliques (sommatal et amont) le sol présente deux discontinuités texturales majeures. La première, correspondant au contact planique, se situe entre des horizons supérieurs sableux et un horizon médian argilo-sableux. Elle apparaît être un front de transformation pédologique par désargilisation et déferrification. La seconde, entre l'horizon argilo-sableux médian et une formation argileuse lourde, doit être considérée comme une discontinuité d'origine sédimentaire. Dans le domaine aval hydromorphe, on observe la superposition d'horizons sablo-argileux à nombreuses taches d'hydromorphie sur un horizon de gley de texture argileuse. Ce sol de l'aval se développe lors de l'écoulement latéral associé au contact planique devient subaffleurant, après ralentissement du cheminement de l'eau dans un domaine intermédiaire de largeur variable.*

*Des hypothèses concernant le fonctionnement hydrodynamique actuel ainsi que l'évolution du système planosol-sol hydromorphe sont proposées. Elles sont mises à l'épreuve de la cartographie dans un article qui sera présenté ultérieurement.*

**MOTS CLES :** analyse structurale, pédogenèse, système pédologique, planosol, sol hydromorphe, forêt d'Orléans.

**KEY WORDS :** structural analysis, soil genesis, planosol, hydromorphic soil, forest of Orléans.

## INTRODUCTION

Le SESCOF ayant entrepris le lever pédologique de la feuille de Bellegarde-du-Loiret à 1/50 000<sup>e</sup> dans le bassin de la Loire (ARROUAYS, 1987), il a paru intéressant d'étudier un petit secteur représentatif de la distribution des sols en forêt d'Orléans. Le but était d'enrichir la cartographie régionale par une connaissance précise de la structure de la couverture pédologique à l'échelle d'une unité de modelé. La reconstitution en continu d'une telle structure met en évidence des différen-

(1) ORSTOM, Institut Français de Recherches Scientifiques pour le Développement en Coopération. Centre de Bondy, 70-74, route d'Aulnay, 93140 Bondy, France.

(2) SESCOF-INRA, Service d'Etude des Sols et de la Carte Pédologique de France, Institut National de la Recherche Agronomique. Centre de Recherches d'Orléans, ARDON, 45160 Olivet, France.

tions latérales qui résultent, soit de variations dans l'espace et dans le temps des facteurs de pédogenèse (pente, substrat, roche mère, etc.), soit de la progression de transformations (BOULET et al., 1984). L'analyse détaillée qui a été faite sur ce secteur s'inspire plus particulièrement des travaux de BOCQUIER (1971), BOULET (1974), CURMI (1979), BRUAND (1980), FRITSCH (1984) ; l'application de ce type d'analyse en Guyane est présentée dans BOULET et al. (1982). Elle combine observations détaillées et investigations de laboratoire pour éclairer la genèse et l'évolution de la couverture pédologique.

Cette analyse a eu pour premier objectif (LAMOTTE, 1986) l'étude des relations structurales et fonctionnelles entre horizons au sein de deux courtes toposéquences, et ceci plus particulièrement pour deux discontinuités remarquables dans les profils de sols. Elle a été complétée par une étude plus extensive de l'ensemble du versant, de longueur kilométrique. Les différenciations verticales et latérales ainsi mises en évidence sont ici discutées en termes de pédogenèse et de fonctionnement hydrique.

## I. LE CADRE DE L'ETUDE

La zone concernée est située à une dizaine de kilomètres au nord de Sully-sur-Loire qui est en amont d'Orléans (fig. 1). Elle correspond à un plateau entaillé de vallées à peine marquées. Elle est soumise à un climat tempéré caractérisé par un total annuel moyen de précipitations de 692 mm, assez bien réparti (minimum estival). Le substratum est constitué par la formation burdigalienne des sables et argiles de Sologne, d'origine fluviale (GIGOUT, 1970 ; GIGOT, 1984). Cette formation a été localement remaniée au Quaternaire (GIGOUT et al., 1972 ; RASPLUS, 1982).

La végétation forestière (forêt domaniale d'Orléans) est entrecoupée de landes ou de cultures. La parcelle 425, où sont situées les toposéquences, a été plantée en pins en 1974 après « coupe à blanc » suivie d'un travail superficiel du sol.

Le versant étudié appartient à une vaste unité de modelé formant partage des eaux entre la Bonnée, affluent de la Loire et le Loing, affluent de la Seine (fig. 1). L'étude prend en compte l'ensemble du versant kilométrique, mais elle a été particulièrement détaillée à mi-versant, dans la parcelle 425, là où l'on passe de sols de

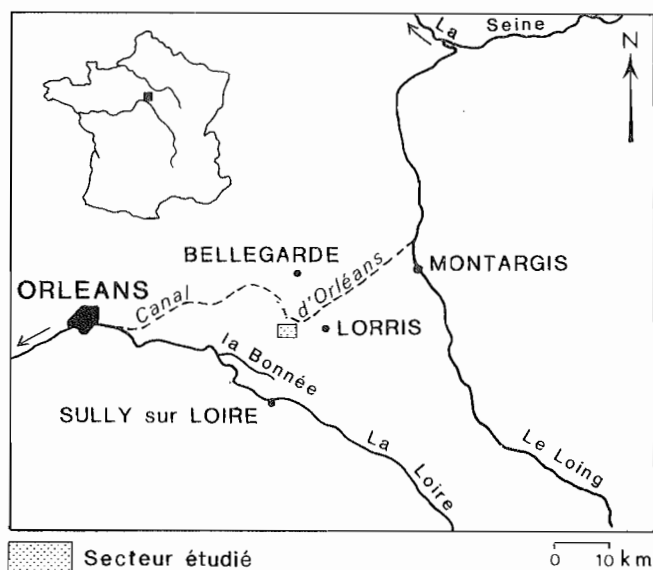


Figure 1 :  
Situation géographique.  
Geographic location.

type planosol à des sols hydromorphes (fig. 2). A ce niveau apparaît un talweg secondaire, faiblement marqué dans le versant (dénivelée < 1 m), qui collecte les eaux de surface et autour duquel, comme on va le voir, s'organise la couverture pédologique.

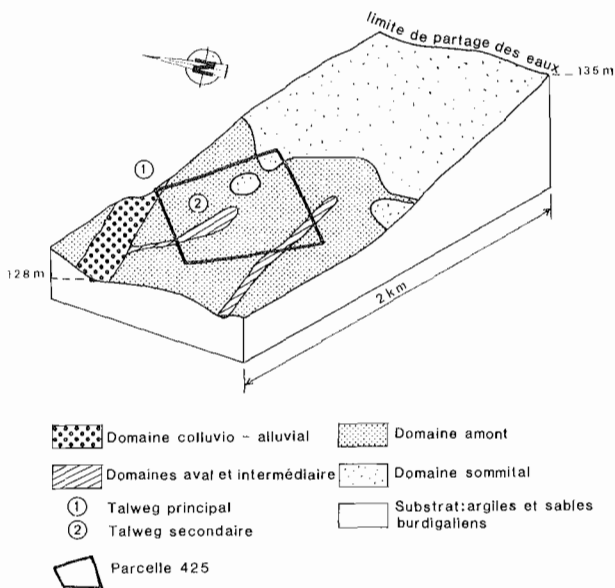


Figure 2 :

**Les différents domaines pédologiques sur le versant.**

*The pedological fields on the slope.*

## II. LES DIFFERENTS DOMAINES PEDOLOGIQUES

Les observations de terrain sont présentées dans les figures 3 et 4 à l'aide d'un profil et de deux toposéquences. Celles-ci ont été établies à partir de fosses reliées par des sondages, suffisamment rapprochés pour permettre de reconstituer l'organisation latérale de la couverture de sol. Les toposéquences caractérisent la portion de versant drainée vers le talweg secondaire. Elle amènent à distinguer trois domaines : amont, intermédiaire et aval [ces termes sont définis par rapport à la topographie du talweg secondaire]. A l'échelle de l'unité de modelé, on a distingué en outre : un domaine sommital qui relaie vers le sommet le domaine amont (et forme aussi des enclaves près de leur limite, cf. fig. 2) ; un domaine colluvio-alluvial de vallée auquel se raccorde le domaine aval.

Les cinq domaines se définissent par leur organisation pédologique et leur fonctionnement hydrodynamique. Ils correspondent à des conditions physico-chimiques et biologiques différentes.

### A) Les domaines sommital et amont

Ils ont en commun leurs caractères planosoliques (BAIZE, 1983), à savoir à la fois (fig. 4) :

— un contact textural subhorizontal et brutal entre des horizons supérieurs sableux [H11] (localement plus graveleux) de teinte claire (clarté > 7, teinte Munsell sur échantillons humides) et un horizon sous-jacent argilo-sableux [H13] (éventuellement avec graviers) de teinte grise (2.5 Y 6/3) et rouille (7.5 YR 5/8),

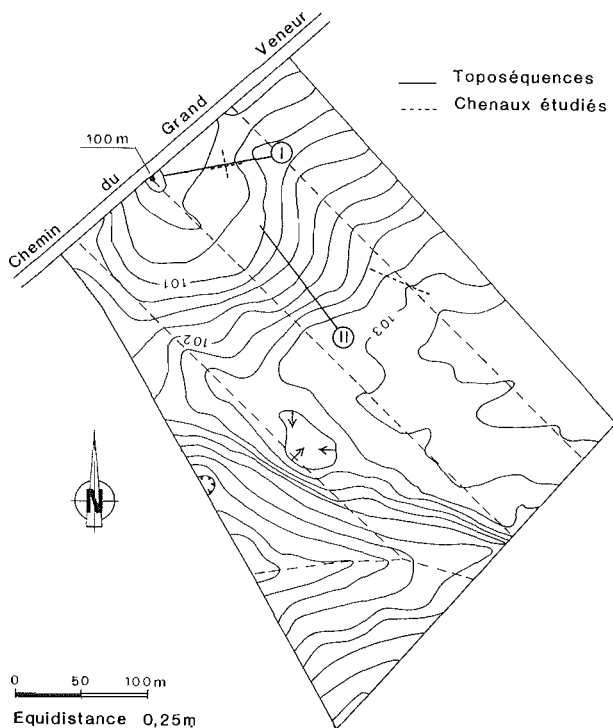


Figure 3 :

**Situation des toposequences I et II dans la parcelle 425.**

*Location of the toposequences I and II in the plot n° 425.*

— au-dessus du contact, un mince horizon [H12] (épais d'environ 1 cm), blanc (2.5 Y 7/2) sableux, instable et gorgé d'eau en période pluvieuse (caractère saisonnier),

— au-dessous du contact, la compacité de l'horizon argilo-sableux [H13].

On note, en outre, une évolution podzolique plus ou moins marquée dans les premiers décimètres [H9], [H10] (teinte brun mauve, 5 YR 4/2 correspondant à un horizon Bh) et au-dessous, dans l'horizon sableux [H11], de grands nodules ferrugineux allongés verticalement.

En profondeur (1 à 1,5 m), l'horizon argilo-sableux passe brusquement à un niveau d'argile verte [H4] où s'observent, dans les premiers décimètres, quelques taches d'oxydo-réduction. Ce matériau argileux épais de plusieurs mètres et de plus en plus sec au toucher en profondeur joue le rôle de substrat imperméable. Sa surface présente localement des dépressions en forme de chenaux, plus ou moins comblés par un matériau gravelo-argileux [H14].

Le *domaine sommital*, largement développé à la partie supérieure de l'unité de modelé, se caractérise par :

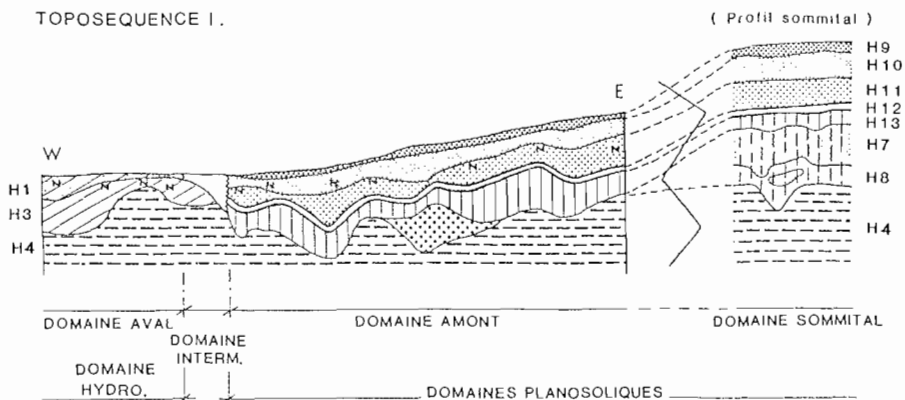
— un contact planique profond (environ 1 m) et fonctionnel (écoulement ou accumulation d'eau en période humide) et un ensemble épais sous-jacent d'horizons argilo-sableux et sablo-argileux ([H7], [H8] et [H13],

— la présence d'un horizon verdâtre ou bistre, sableux à sablo-argileux [H7] associé à l'horizon argilo-sableux et contenant des minéraux altérables (feldspaths). Ses relations avec l'horizon argilo-sableux du planosol amènent à considérer qu'il représente le matériau originel du planosol (cf. III-C),

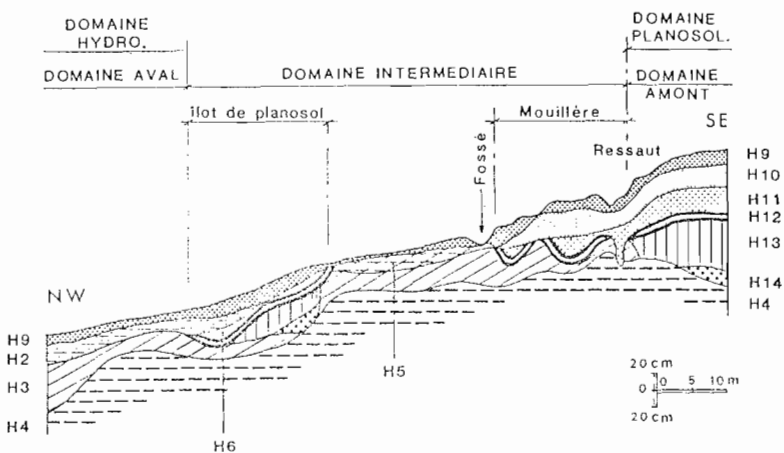
— un substrat d'argile verte profond (environ 1,5 m).

Le *domaine amont* présente un contact planique moins profond (0,5 m environ), un horizon argilo-sableux moins épais (20-40 cm) nettement structuré en prismes, sans feldspaths visibles.

TOPOSEQUENCE I.



TOPOSEQUENCE II



- |  |                                       |     |  |     |   |
|--|---------------------------------------|-----|--|-----|---|
| H1   | Sable argileux humifère               | H5  | Argile humifiée gléifiée                     | H9  | Sable humifère                              |
| H2   | Sable argileux à taches, rouille      | H6  | Sable argileux blanchi, gorgé d'eau          | H10 | Sable gris brun                             |
| H3   | Argile ou argile sableuse grise, gley | H7  | Sable argileux vert (sommital)               | H11 | Sable gris blanc, à nodules                 |
| H4   | Argile verte                          | H8  | Argile sableuse inférieure (sommital)        | H12 | Niveau centimétrique, blanc sable "boulant" |
| N N Niveau supérieur de la nappe le 26/03/86 |                                       | H13 | Argile sableuse prismatique grise et rouille | H14 | Argile sableuse graveleuse                  |

Figure 4 : Toposéquences I et II.  
Toposequences I and II.

## B) Les domaines aval et colluvio-alluvial

Ils présentent des caractères nets d'hydromorphie (fig. 4).

*Le domaine aval* s'observe dans le talweg secondaire qui est très évasé et sans écoulement permanent. Il se caractérise par un horizon de gley argileux gris (plus bleu que 2.5 Y 6/2) [H3] épais de quelques décimètres, développé à la partie supérieure du substrat d'argile verte [H4] et qui est surmonté d'un horizon sablo-argileux [H2], présentant des taches de couleur rouille, jusqu'à la base de l'horizon humifère au moins. Le gradient textural est progressif. Le gley apparaît à faible profondeur et peut même affleurer. L'horizon sablo-argileux [H2], très humide en période pluvieuse, ne présente pas de partie blanchie à sa base.

Ainsi, le profil de sol du domaine aval est peu épais, 0,5 m environ, mais affecté sur toute son épaisseur par l'hydromorphie.

*Le domaine colluvio-alluvial*, observé dans les vallées, en bordure des ruisseaux, se caractérise par des superpositions désordonnées de matériaux graveleux, sableux ou argileux plus ou moins engorgés et marqués par l'hydromorphie.

## C) Le domaine intermédiaire

*Le domaine intermédiaire* apparaît au niveau du talweg secondaire faiblement inscrit dans le versant. Il se caractérise par (fig. 4, toposéquence II) :

- l'absence du contact planique continu du domaine amont,
- une gleyification du substrat argileux (sur 10 cm environ), mais sans hydromorphie généralisée jusqu'en surface [H5],
- un microrelief irrégulier avec localement des cuvettes remplies d'eau en saison pluvieuse (mouillère).
- localement, protégés dans des ensembles du substrat d'argile verte, on observe des îlots formés d'un mince horizon blanchi au-dessus d'un horizon argilo-sableux à structure prismatique.

Ainsi, au plan morphologique, ce domaine hétérogène se définit par des îlots du domaine amont associés à des zones à caractère hydromorphe.

## D) Conclusion

La couverture pédologique étudiée présente partout à sa base un horizon argileux qui est, d'amont en aval, de moins en moins profond et de plus en plus marqué par la pédogenèse (hydromorphie). Cet horizon se développe à la partie supérieure d'un niveau d'argile verte jouant le rôle de substrat imperméable. On s'attachera dans un premier temps à montrer que l'argile verte est bien une couche sédimentaire différente du matériau originel du planosol sus-jacent.

L'origine pédogénétique du contact abrupt entre horizons supérieurs sableux et horizon argilo-sableux médian sera ensuite discutée (contact planique). On présentera enfin quelques arguments en faveur d'une filiation entre l'horizon sablo-argileux à minéraux altérables (domaine sommital) et l'horizon médian à sables quartzeux, pour tenter d'identifier les conditions locales de la planosolisation.

## III. DIFFERENCIATION DU PLANOSOL : ETUDE DES PRINCIPAUX CONTACTS

On présentera et discutera dans ce qui suit des données d'ordre morphologique, granulométrique et minéralogique concernant les principaux contacts identifiés dans les domaines sommital et amont.

## A) Origine sédimentaire du contact horizon argilo-sableux sur argile verte

### 1. Topographie du toit de l'argile verte [4]

L'argile verte est toujours présente en profondeur (fig. 4 et 5), enfouie sous un matériau plus épais à l'amont qu'à l'aval. Des mesures altitudinales précises permettent d'indiquer que la pente moyenne du toit de la couche argileuse est, sur le versant, de l'ordre de 1 % et dirigée vers l'ouest.

Sa surface présente par ailleurs des ensembles d'extension métrique à décimétrique. Deux d'entre eux ont fait l'objet de relevés précis (fig. 6) montrant un allongement qui suggère une forme en chenal. Le profil transversal de ces chenaux apparaît dissymétrique, leur direction diffère de la ligne de plus grande pente. Ainsi, la morphologie de cette surface est irrégulière mais elle ne se répercute pas dans la topographie actuelle.

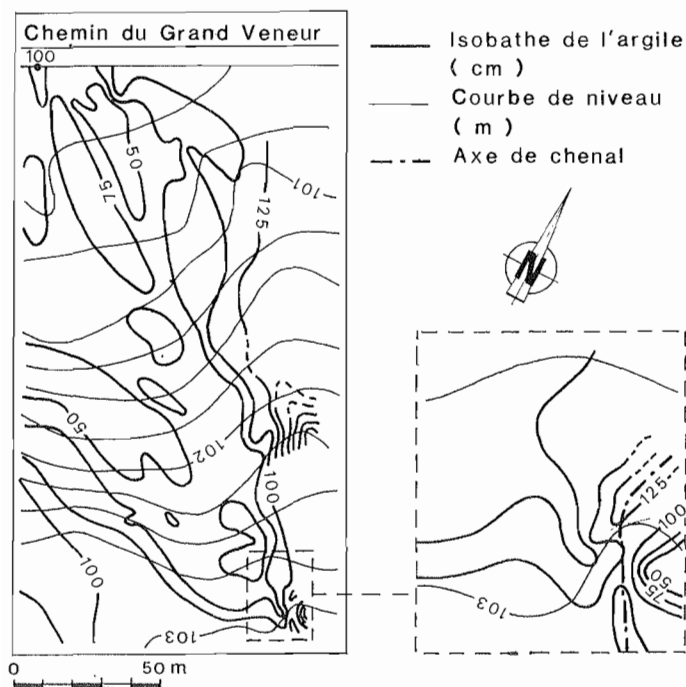


Figure 5 :

Esquisse de la carte des isobathes du toit de l'argile verte.

*Schematic map of the topography of the upper level of the green clay.*

### 2. Horizon graveleux discontinu intercalé [H14]

Cet horizon forme des lentilles qui ont toujours été trouvées associées aux chenaux précédents. Toutefois, les « remplissages » de ces chenaux par les graviers [H14] ne sont pas symétriques (fig. 6).

Ces lentilles ont une épaisseur variant entre 2 et 50 cm, et des largeurs de 5 à 12 m, leur forme peut être biconvexe. Elles comprennent une phase fine, limono-argileuse plus ou moins importante (qui peut aller jusqu'à 35 % dans la séquence I) emballant les graviers.

L'argile verte sous-jacente ne contient pratiquement pas de graviers. Le contraste textural est donc très marqué et il est difficile d'envisager une filiation pédogénétique entre ces 2 horizons par concentration des graviers, suite à une élimination des éléments fins. En effet, l'accumulation de 10 cm de graviers nécessiterait le remaniement de 10 m d'argile, calcul effectué pour 3 % de graviers dans l'argile verte (teneur maximale observée) et pour un horizon graveleux de 50 cm d'épaisseur à 65 % de graviers (valeurs maximales).

GIGOUT (1970) indique la présence de ces chenaux, ravinant l'argile verte burdigalienne. La limite supérieure de l'argile verte correspondrait à une interruption de sédimentation avec érosion suivie d'un changement de compétence du vecteur fluviale.

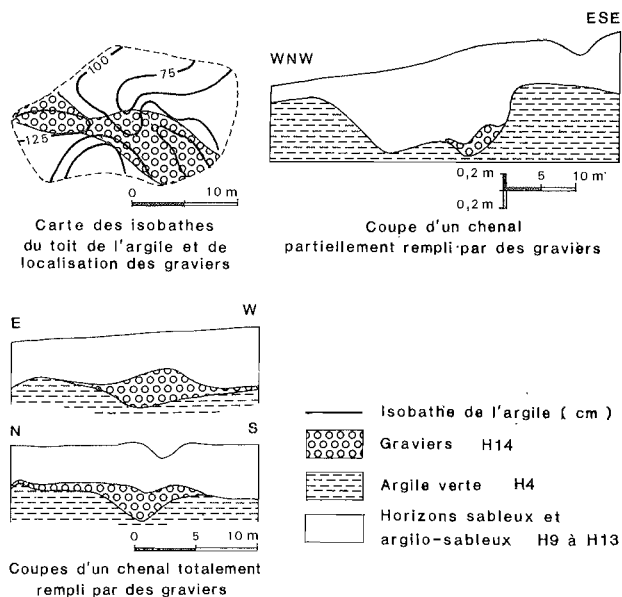


Figure 6 :  
 Coupes de deux chenaux remplis par des graviers (cf. fig. 3).  
 Cross sections of two channels filled with gravels (fig. 3).

### 3. Etude comparée du squelette

De part et d'autre du contact, le squelette ne présente pas de différence significative. L'essentiel des grains est quartzeux (translucides ou blancs, mono mais surtout polycristallins). Un faible pourcentage (< 5 %) d'entre eux est feldspathique (rose ou blanc) ou micacé.

Aucune différence morphoscopique n'a été notée entre les sables de l'argile verte [H4] et ceux de l'horizon argilo-sableux [H13]. Ils sont subanguleux à arêtes émoussées ou arrondis. L'étude exoscopique (MEB) des fractions sableuses 200-500 µm n'a pas permis d'établir de différence entre les horizons. La comparaison des cortèges des minéraux lourds ne permet pas de différencier les horizons [H13] et [H4] (tableau 1). Cette analyse indique une origine commune, à savoir un bassin associant des roches métamorphiques et granitiques.

Tableau 1 : Résultats du comptage des minéraux lourds (fraction 50-500 µm).  
 Détermination réalisée par Mme M. DELAUNE, ORSTOM, Bondy.

Domaines	Horizon	Appellation	Andalousite	Stauronite	Sillimanite	Disthène	Crenat	Epidote	Hornblende verte	Monazite	Tourmaline	Rutile	Anatase	Brookite	Zircon	Hornblende brune	Augite	Hypersthène	Augite aegyrinique	Corindon	Sphène	Spinelles	Glaucophane
Domaine amont	Sableux 13 - 25 cm	[H11]	5	8	1	1	3	10	2	10	9	5	4	+	38	1	2		+		+		
	Sableux 50 - 60 cm		8	13	1	-	2	7	1	8	17	4	4	+	26	+	7	1		1	+		
	Argilo-sableux 86 - 91 cm	[H13]	6	6	2	+	+	7		9	8	2	10	2	44	+	4			+		+	
	Argileux lourd 110 - 120 cm	[H4]	11	5	2	1	2	7		3	10	11	6		42								
Domaine sommital	Sablo-argileux 123 - 130 cm	[H7]	12	23	5	2	2	2	2	3	26	3			14	4	+		2				+
	Argilo-sableux 130 - 140 cm	[H6]	16	11	7	4	+	5	2	1	30	5			16	1			2	+			



Une étude quantitative est effectuée à partir d'un fractionnement granulométrique. Les données obtenues pour un profil du domaine amont (séquence I) sont présentées figure 7a. Les 8 fractions supérieures à 2  $\mu\text{m}$  étant ramenées à 100 % de constituants non argileux, les résultats sont exprimés en courbes cumulatives. Le même type de distribution a été obtenu pour deux autres profils situés dans le domaine amont. On note que :

— dans l'argile verte [H4], le squelette représente 20 à 40 % de la fraction minérale totale. Ce squelette est caractérisé par une courbe cumulative de médiane égale à 0,040 mm, de type « hyperbolique » qui évoque une prédominance des éléments fins lors de la sédimentation (RIVIERE, 1977) ;

— dans le niveau graveleux [H14], la médiane à 2,8 mm illustre l'importance du stock de gravier qui est associé à une matrice sablo-limoneuse non négligeable (40 %) ;

— l'horizon argilo-sableux (H13) présente un troisième type de granulométrie, avec un taux d'argile de 30 % en moyenne, une courbe cumulative sigmoïde et une médiane de 0,26 mm en moyenne.

Les différences de distribution du squelette peuvent être interprétées dans une optique sédimentologique par une variation de l'agent de sédimentation. Pour envisager une filiation entre l'argile verte et l'horizon argilo-sableux, il faudrait invoquer des mécanismes ayant pour résultat d'éliminer une fraction importante de l'argile (60 % ramenés à 30 % dans l'horizon argilo-sableux) par érosion (à l'air ou sous une lame d'eau) ou par éluviation et dégradation pédologique. Cette éventualité n'expliquerait pas l'accumulation discontinue de graviers. L'hypothèse est donc à rejeter. Les caractéristiques du squelette sont en faveur d'une origine sédimentaire du contact inférieur. La position de ce contact serait alors déterminée par l'histoire géologique (sédimentation et déformations ultérieures).

#### 4. Etude minéralogique du plasma argileux

L'analyse en diffraction des RX de la fraction < 2  $\mu\text{m}$  a montré qu'elle était composée de smectite, kaolinite et illite, aussi bien pour l'argile verte [H4] que pour l'horizon argilo-sableux [H13]. Ce dernier contient en outre de la lépidocrocite, de la goëthite et des feldspaths.

Les analyses chimiques du fond matriciel, effectuées sur des lames minces à l'aide d'une micro-sonde électronique, ont fourni des compositions chimiques qualitatives non significativement différentes pour les deux horizons (LAMOTTE, 1986). L'horizon argilo-sableux [H13] et l'argile verte [H4] sont donc constitués des mêmes silicates phylliteux. On note la présence d'amas blancs poudreux, de taille millimétrique, à composition de barytine au sein de l'argile verte et nulle part ailleurs.

#### 5. Conclusion

Le contact entre les horizons argilo-sableux et argileux s'explique par une rupture entre deux rythmes de sédimentation. Elle est soulignée par la présence d'un niveau graveleux en poches discontinues. La pédogenèse dépasse ce contact en profondeur (structuration, oxydation...) et de façon d'autant plus importante que le contact est proche de la surface.

### B) Le contact pédologique entre horizons sableux et argilo-sableux

#### 1. Topographie du toit de l'argile sableuse

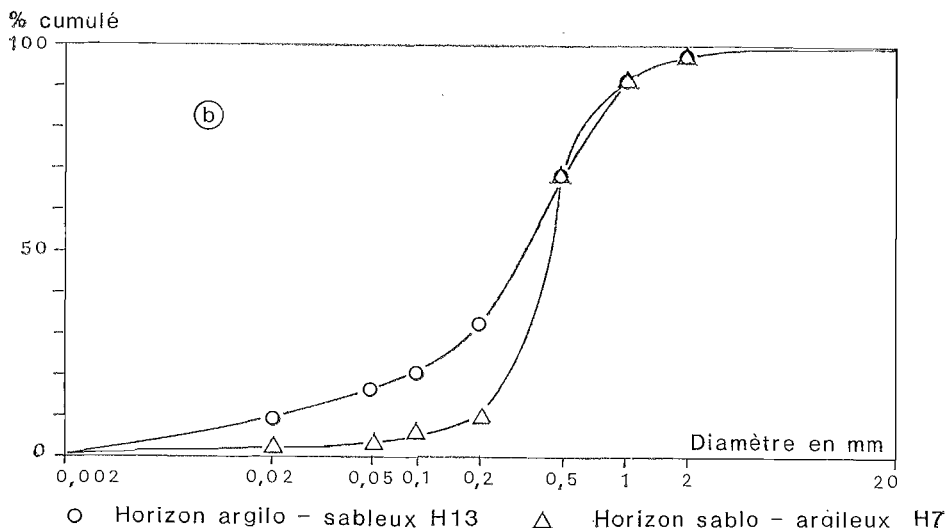
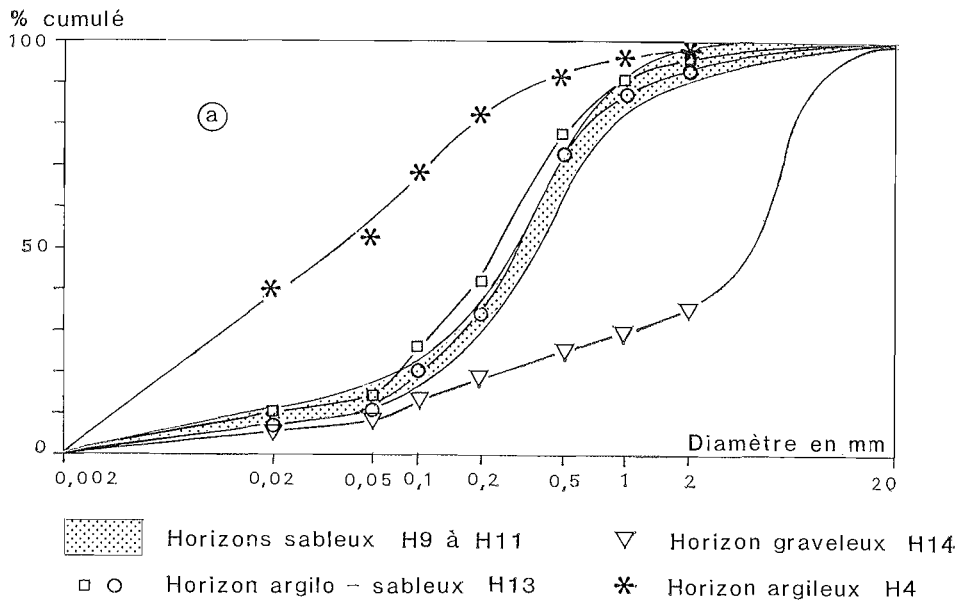
Sur le versant étudié, la profondeur de ce contact par rapport à la surface du sol décroît d'amont en aval (de 60 à 30 cm) ; sa pente est donc moins forte que celle de la surface topographique et a grossièrement la même orientation (LAMOTTE, 1986) (cf. fig. 4).

Cependant, à l'aplomb de certains chenaux (non graveleux) inscrits dans le toit

de l'argile verte, le contact s'approfondit nettement (jusqu'à 75 cm) et sa pente est alors dirigée vers l'axe du chenal (contre-pentes de la séquence 1, fig 4).

## 2. Etude du squelette granulométrique

Sur le terrain, aucune rupture sédimentaire n'a été notée de part et d'autre du contact, les sables sont grossiers (0,5 à 1 ou 2 mm) ; une étude du squelette a donc été menée pour tester l'homogénéité du matériau (fig. 7).



**Figure 7 : Courbes granulométriques cumulatives des fractions 0,02-20 mm. Horizons appartenant à un profil de sol du domaine amont (a) et à un profil de sol du domaine sommital (b).**

*Cumulative curves of the particle size distribution between 0.002 and 20 mm. Horizons from a soil profile located in the upstream domain (a) and from a soil profile located in the summit domain (b).*

Les courbes granulométriques cumulatives des horizons sableux sont juxtaposées, jointives ou légèrement entrecroisées. En descendant dans le profil, elles sont un peu décalées vers les fractions grossières. Pour des commodités de dessin, tous les points sont regroupés dans un faisceau de forme sigmoïde dont la médiane varie entre 0,30 et 0,38 mm. Les 2 courbes de l'horizon argilo-sableux sont de même forme, tangentes au faisceau, leur médiane étant de 0,25 à 0,30 mm. L'interprétation sédimentologique des courbes granulométriques indique qu'il s'agit d'un même type de sédimentation, avec de faibles différences liées au tri.

La caractérisation minéralogique (macro et microscopiquement) a montré dans les deux ensembles texturaux, la dominance des quartz translucides, blancs laiteux ou rouges, la présence de feldspaths blancs ou roses, de micas et de minéraux noirs.

Les grains du squelette des deux types d'horizon sont émoussés subanguleux ou émoussés luisants ; aucune différence morphoscopique n'a été relevée. Les surfaces des grains 200-500 µm ont été comparées en microscopie électronique à balayage. Elles présentent les mêmes figures de choc et d'immobilisation dans les deux types d'horizon ; de plus, aucune trace particulière d'éolisation n'a été remarquée dans les horizons sableux.

Les résultats du comptage des minéraux lourds ne montrent pas de différence significative du cortège de ces minéraux entre l'argile sableuse et les horizons sableux sus-jacents (tableau I).

### 3. Les organisations pédologiques

L'horizon argilo-sableux prismatique [H13] présente une polarité verticale de son organisation macroscopique ; de bas en haut, on note :

- une augmentation du volume relatif occupé par les plages rouille (20 % à la base, 50 à 60 % au sommet) ;
- une disparition de la structure prismatique, quelques centimètres avant le sommet de l'horizon et l'individualisation d'îlots argilo-sableux rouille dans un fond sablo-argileux ;
- l'horizon perd ensuite sa compacité, il est relayé par un niveau de sable blanc [H 12] gorgé d'eau (printemps 86). Le contact entre les deux est ondulé, l'amplitude des festons étant de 2 à 3 cm.

Au-dessus du contact planique, le sable contient, en proportion variable, des volumes argilo-sableux rouille et des nodules ferrugineux. Les volumes rouille centimétriques représentent moins de 1 % du volume total de l'horizon, ils disparaissent dans les 10 cm au-dessus.

#### a) LES PRISMES A CŒUR ROUILLE

Les prismes de l'horizon argilo-sableux ont une section subhexagonale (5 à 8 cm de côté) rétrécie à la base, leurs faces sont planes et revêtues. Ils présentent une sous-structure anguleuse (cubes ou polyèdres) plus ou moins nette. Les volumes rouille sont situés préférentiellement au cœur des agrégats ; ce sont des petits îlots arrondis, de 2 à 4 cm de diamètre, différenciés par leur teinte et par une texture légèrement plus argileuse.

A la loupe binoculaire et au microscope optique, l'horizon argilo-sableux présente des fissures orientées verticalement ou horizontalement. Ces vides sont authentifiés par leur colonisation racinaire, mais leur ouverture (0,1 à 0,3 mm) a peut-être été élargie lors de la fabrication de la lame. Les fentes subverticales (espaces interprismatiques) sont continues jusqu'à la base de l'horizon. Les fentes horizontales sont discontinues, longues de 1 à 2 cm. C'est le long de ce réseau de vides que le fond matriciel est décoloré en gris clair.

#### b) LES REVETEMENTS DANS L'HORIZON ARGILO-SABLEUX

Les observations en microscopie optique montrent la présence, dans les agrégats, de vides de type cavité qui représentent environ 1 % en volume. Certaines de ces cavités sont tapissées de revêtements limoneux, argileux ou ferrugineux.

Les revêtements limoneux (siltanes) sont observés dans des cavités de la partie supérieure de l'horizon argilo-sableux. On ne les rencontre jamais sur les parois des fissures, interpolyèdres ou interprismes. Ils apparaissent constitués de sable quartzueux fin, de limon, d'argile et de grains noirs qui sont vraisemblablement des charbons de bois. Le plus fréquemment, les microlits sont bien individualisés et parallèles les uns aux autres, ils sont discordants sur les structures du fond matriciel.

Les revêtements argileux (argilanes) sont présents au milieu et à la base de l'horizon. Ils couvrent tout le pourtour de certaines cavités et ne les colmatent pas totalement. Les figures d'extinction sont nettes. Les microlits ne sont pas bien individualisés sauf quand ils sont soulignés par des craquelures dues aux rétractions d'argile.

Les revêtements ferrugineux (ferranes) s'observent en bordure des cavités et recouvrent de manière discontinue les siltanes et/ou argilanes.

Ces observations indiquent que la dynamique du fer est dissociée de celle des particules fines. Celles-ci forment deux types de cutanes, différant par leur composition et leur localisation, donc probablement par leurs conditions de formation. Les siltanes ont en fait une composition complexe, ne forment pas de papules et sont absents des fissures structurales. Ils ont pu se mettre en place à des périodes où ces fissures étaient refermées par le gonflement saisonnier de l'argile. Quant aux argilanes, ils matérialisent la différenciation du planosol par illuviation et s'incorporent au fond matriciel (peu de papules).

#### c) LES NODULES FERRUGINEUX DE L'HORIZON SABLEUX

Ces nodules pourraient s'être formés au cours d'alternance de phases de réduction et de phases d'oxydation, l'alimentation en fer étant réalisée par battement de la nappe (immédiatement au-dessus du contact planique).

Cependant, les nodules de cet horizon sableux, qui était effectivement engorgé au moment de l'étude, paraissent plutôt en cours de désorganisation par déferrugination : absence de ferranes dans les pores, grains de squelette dégagés en bordure de nodules, fissures périphériques non contiguës au nodule. Les nodules pourraient correspondre à des reliques de la phase rouille des prismes de l'horizon argilo-sableux sous-jacent. Le contact planique serait dans cette hypothèse un front de transformation lié à la dynamique du fer (LAMOTTE, 1986).

#### d) LES TRAITS PEDOLOGIQUES AU NIVEAU DU CONTACT PLANIQUE

Aucun trait d'accumulation n'a été noté au sommet de l'horizon argilo-sableux compact. En microscopie optique, le contact montre en fait deux limites tranchées séparant trois zones, dont les fonds matriciels se différencient par leur constitution. De bas en haut, on observe :

- un assemblage (au cœur d'un agrégat) constitué d'un squelette, sablo-limoneux avec un plasma argilo-ferrugineux,
- une zone avec le même squelette que précédemment mais avec un plasma d'argile biréfringente, non coloré par le fer,
- le niveau de sable limoneux (blanc sur le terrain), la distribution du squelette devenant plus compacte vers le haut.

Ainsi, à ce niveau, les processus de déferrification et de désargilisation sont associés quoique distincts, le lessivage du fer précédant (vers le bas) le départ de l'argile.

## 4. Conclusion

Les traits essentiels de la géométrie du contact sont sa planéité à l'échelle métrique et sa pente qui permettent globalement un écoulement de l'eau si le sommet de l'horizon prismatique compact joue le rôle de plancher imperméable.

L'étude des grains du squelette, de part et d'autre du contact, n'a révélé aucune différence significative. La similitude de tri granulométrique et de cortège de minéraux lourds amène à considérer que les horizons sableux et l'argile sableuse dérivent d'un même matériau évolué sur place à la faveur de processus pédogénétiques (cf. III.C).

Au sommet de l'horizon argilo-sableux, la faible proportion de traits d'accumulation actuels et anciens et l'importance des zones décolorées suggèrent une dynamique globale d'appauvrissement en fer et en argile, accompagnée de formes transitoires d'illuviation près du contact.

Le contact planique serait donc le siège d'une double transformation (désargilisation et déferrification) agissant *per descensum* et lessivant l'horizon argilo-sableux à son sommet pour ne laisser sur place que son squelette et des reliques (îlots argilo-sableux rouille et nodules ?).

### C) Relations entre l'horizon argilo-sableux [H13] et le sable argileux [H7]

Le sable argileux [H7] identifié dans le domaine sommital (cf. II-A et fig. 4) contient des minéraux altérables (feldspath, muscovite...). Il est inclus dans l'horizon argilo-sableux et son contact présente une forme contournée. Il forme même des pédoncules à sa base. Ces relations macroscopiques\* suggèrent une filiation pédogénétique par argilisation des minéraux altérables, la transformation étant à la fois descendante (en haut) et remontante (à la base du sable argileux).

Une telle filiation n'est envisageable que si les horizons sablo-argileux et argilo-sableux ont la même composition en minéraux lourds. C'est ce qu'indiquent les résultats présentés dans le tableau 1. Par ailleurs, la distribution granulométrique de la fraction supérieure à 2 µm montre que cette filiation est possible (fig. 7b).

## IV. FONCTIONNEMENT HYDRODYNAMIQUE

Des variations d'humidité et des mouvements d'eau libre ont été observés lors des différentes étapes de la prospection et de l'échantillonnage (mars-octobre 1986) (figure 8).

Dans le domaine amont, l'infiltration verticale de l'eau, rapide dans les horizons sableux, est fortement ralentie au passage du contact planique : une circulation latérale d'eau libre s'installe à ce niveau, dont la pente moyenne est de l'ordre de 1 %. Il existe cependant localement des contre-pentes provoquant des accumulations d'eau dans les horizons sableux. C'est le cas dans le domaine sommital subhorizontal

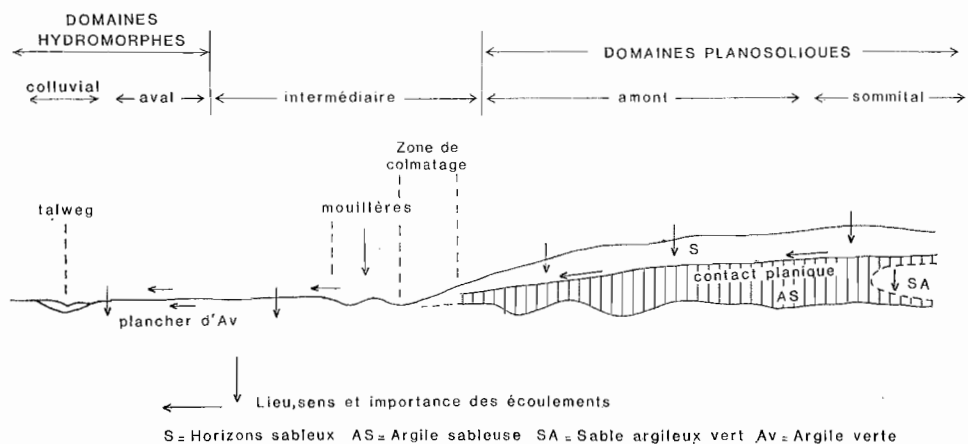


Figure 8 : Fonctionnement hydrodynamique actuel (période humide).  
Actual hydrodynamic regime (wet season).

\* L'étude microscopique n'a pu être effectuée par suite de difficultés d'imprégnation par la résine.

où le planosol est épais. C'est le cas aussi au droit des étroits chenaux inscrits dans la surface du substrat argileux.

Dans le domaine intermédiaire, le flux latéral venant des horizons sableux du domaine amont est ralenti (texture plus argileuse de l'aquifère, qui se colmate). Il rejoint la surface du sol au niveau de petites cuvettes juxtaposées formant mouillère. L'écoulement a été amélioré localement par des fossés de drainage. Dans le domaine aval, l'écoulement est essentiellement superficiel dès que l'imbibition du sol est assurée. Il n'apparaît qu'au moment des pluies.

La structure planosolique est à l'origine, dans les conditions pluviométriques actuelles, d'un important apport d'eau, latéral et interne, de l'amont vers l'aval où il devient superficiel (effet d'impluvium d'origine pédologique). Ce flux est ralenti dans le domaine intermédiaire, où l'eau s'accumule temporairement.

Ces domaines sont donc les composantes d'un système hydrodynamique à dominante latérale. La composante latérale est déterminée successivement d'amont vers l'aval par l'imperméabilité relative du contact planique, puis par celle du substrat d'argile verte qui est de plus en plus proche de la surface. Le domaine intermédiaire se définit mieux alors, en terme de fonctionnement, comme la zone de raccord entre ces deux planchers.

## V. EVOLUTION DU SYSTEME PEDOLOGIQUE

Les domaines pédologiques qui ont été distingués (fig. 9) par leur différenciation en horizons et par leur fonctionnement hydrodynamique, forment ensemble un système identifié par l'articulation des structures et des dynamiques actuelles. L'étude effectuée permet de proposer un schéma d'évolution de ce système :

— la différenciation observée dans le domaine sommital suggère que le développement du planosol a été initié par la superposition d'un substrat imperméable et d'un matériau perméable, ce dernier contenant à la fois des minéraux altérables qui s'argilisent et un squelette résistant qui s'accumule relativement en haut du profil après désargilisation et déferrification. Ces processus successifs d'argilisation et de désargilisation sont associés à un battement de nappe contrôlé par le contact planique.

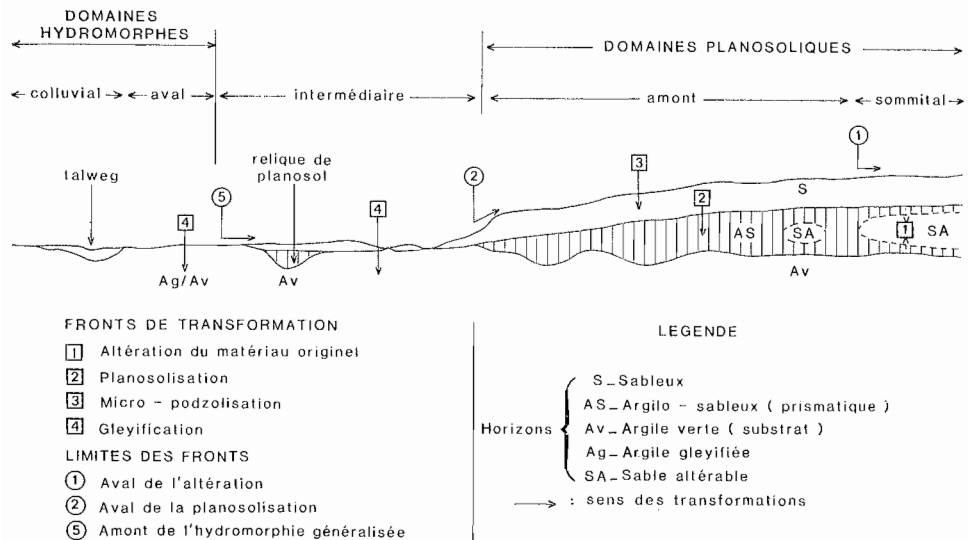


Figure 9 : Schéma des transformations sur le versant.

*Schematic representation of the pedological transformations on the slope.*

— la disparition du matériau originel dans le domaine amont entraîne un amincissement du planosol qui est mis alors en situation de déséquilibre fonctionnel (engorgement des horizons sableux). Il se désorganise par érosion, à son aval (limite aval du planosol).

— la présence d'îlots de planosol dans le domaine intermédiaire confirme le recul du domaine amont. Leur disparition détermine le développement du domaine aval, accusé par la concentration des eaux en surface, sur le substrat argileux très peu profond (limite amont de l'hydromorphie généralisée). Les îlots de planosol observés dans la toposéquence II sont alors des reliques du domaine amont.

— le talweg secondaire étudié, avec sa forme très évasée et sa dénivelée de l'ordre du mètre, apparaît plus comme résultant d'une déstabilisation du planosol (d'épaisseur métrique également) que d'un processus d'érosion régressive commandé par la morphogenèse régionale. Sa formation est liée cependant à la disparition à l'aval du matériau propice à la planosolisation.

## CONCLUSION

La couverture pédologique du versant étudié présente une structure planosolique qui détermine un écoulement latéral, surchargeant en eau le domaine aval hydromorphe (effet d'impluvium). L'hydromorphie résulte également de l'affleurement du substrat argileux, imperméable et subhorizontal.

Les données morphologiques et analytiques montrent que :

— le contact planique correspond à un double front de désargilisation et de déferrification, qui laisse des reliques dans les horizons sableux sus-jacents ;

— ces deux transformations affectent un horizon médian argilo-sableux dont la différenciation est à la fois verticale (marques d'illuviation) et concordante avec sa structure en prismes (distribution du fer) ;

— cet horizon paraît généré lui-même par l'altération d'un matériau sablo-argileux observé à son contact dans le domaine sommital.

L'étude met l'accent sur l'importance du talweg secondaire, dans l'articulation des structures et des dynamiques. Le domaine « intermédiaire » qui lui correspond présente en fait des caractères originaux dont l'analyse a servi à reconstituer l'évolution du système.

Cette évolution est réglée par la progression de divers fronts de pédogenèse ou d'érosion, modulée entre autres facteurs par les variations lithologiques rencontrées. Pour en connaître l'effet résultant, il est nécessaire de s'appuyer sur la distribution spatiale des différentes composantes du système pédologique (domaines). Cette discussion sera abordée dans un article ultérieur.

Reçu pour publication : Octobre 1987

Accepté pour publication : Juillet 1988

## REMERCIEMENTS :

Les auteurs remercient Madame M. DELAUNE (ORSTOM, Centre de Bondy) pour les déterminations de minéraux lourds.

## A PLANOSOL-HYDROMORPHIC SOIL SYSTEM IN THE FOREST OF ORLEANS

*This work concerns a soil mantle derived from the Burdigalian river deposits (forest area of Orléans, France) (fig. 1). The study has been made from a slope which was about one kilometer long and where the transition between planosols and hydromorphic soils has been observed (fig. 2). In the case of planosols, upper quartzic sandy horizons were superposed on a sandy clay based horizon with an abrupt limit*

(0.5 m in depth). An impermeable green clay formation was observed at a depth of about 1 m. In secondary talwegs (downslope), hydromorphic soils were present because of the clay substratum which was less deep and was differentiated into a gley horizon.

Lateral relations between the planosol and the hydromorphic soils were studied along two short toposquences (fig. 3 & 4). Five pedogenic domains have been distinguished with specific organization and internal conditions, namely two planosolic domains : summit and upstream of the slope and three hydromorphic domains : intermediate, downslope and colluvial (along main valleys) (fig. 4). The intermediate pedogenic domain as characterized by some remainders of the upstream domain and by hydromorphic features which were less developed than those of downslope domain. In the summit domain, a greenish or brownish sandy material was observed between the green clay and the sandy clay horizon (fig. 4).

The analysis of the contact between the green clay formation and the sandy clay horizon has showed that this discontinuity has to be interpreted as a sedimentologic discontinuity. Indeed, the topography of the green clay surface (fig. 5), the presence of channels which filled with gravels (fig. 6) and the particle size distribution of the different materials (fig. 7) which were present on both side of the contact, lead to this interpretation. Nevertheless, the study of the heavy minerals showed there was no significative difference between the green clay formation and the sandy clay horizon (tab. 1). These results allowed to establish that these two alluvial deposits would come from the same area associating metamorphic and granitic rocks.

Moreover, the study of the contact between the sandy clay horizon and the sandy horizon allowed to show that this limit corresponded to a transforming front (« deferruginization » and « desargilization »). Indeed, the particle size distribution of these two horizons (fig. 7), the pedologic features of the contact (morphology, microscopic organization) and the nature of heavy minerals (tab. 1) were in consideration of the conclusion that it was a transforming front.

Finally, the few results of the study of the sandy material from the summit domain showed that this material would have been the original material of the sandy clay horizon.

In short, this work leads to specify both the hydrodynamic properties of the pedologic system which has been studied (fig. 8) and the condition of the pedological transformations along the slope (fig. 9). More, it points out that the soil differentiation is closely related to the secondary talwegs.

## BIBLIOGRAPHIE

- ARROUAYS D., 1987. — Carte des sols de la région Centre à 1/50 000<sup>e</sup>. Feuille de Bellegarde du Loiret. Notice explicative. INRA-SESCPF, Chambre d'Agriculture du Loiret.
- BAIZE D., 1983. — Les planosols de Champagne Humide. Pédogenèse et fonctionnement. Thèse Sci. Nancy, 278 p.
- BOCQUIER G., 1971. — Genèse et évolution de deux toposéquences de sols tropicaux du Tchad. Interprétation biogéodynamique. Thèse Sci. Strasbourg, Mémoire ORSTOM n° 62, 350 p.
- BOULET R., 1974. — Toposéquences de sols tropicaux en Haute-Volta. Equilibre et déséquilibre pédobioclimatiques. Thèse Sci. Strasbourg, mémoire ORSTOM n° 65. 272 p.
- BOULET R., CHAUVEL A., HUMBEL F.X., LUCAS Y., 1982. — Analyse structurale et cartographie en Pédologie. Cahiers ORSTOM, série Pédol. Vol. XIX, 4, pp. 309-351.
- BOULET R., CHAUVEL A., LUCAS Y., 1984. — Les systèmes de transformation en Pédologie. AFES, Livre Jubilaire du Cinquantenaire, pp. 167-179.



- BRUAND A., 1980. — Analyse de la superposition de profils en vallée sèche de Champagne Crayeuse. Mémoire DEA fédéral de Pédologie. Univ. Paris VII. Multigraphié, 49 p.
- CURMI P., 1979. — Altération et différenciation pédologique sur granite en Bretagne. Thèse Doct. Ing. Rennes. ENSA-INRA, 176 p.
- FRITSCH E., 1984. — Les transformations d'une couverture ferrallitique en Guyane Française. Thèse 3<sup>e</sup> cycle Paris VII, ORSTOM, 190 p.
- GIGOT C., 1984. — Notice de la carte géologique à 1/50 000<sup>e</sup> de Bellegarde-du-Loiret, Ed. BRGM.
- GIGOUT M., 1970. — Notice de la carte géologique à 1/50 000<sup>e</sup> de Châteauneuf-sur-Loire. Ed. BRGM.
- GIGOUT M., HOREMANS P., RASPLUS L., 1972. — Sur la géologie des environs d'Orléans, Bull. BRGM 2<sup>e</sup> série n° 1, pp. 1-28.
- LAMOTTE M., 1986. — Contribution à l'étude des relations morphologiques, génétiques et hydrodynamiques entre horizons sableux superficiels et argileux sous-jacents sur un versant de la forêt d'Orléans. Mémoire DEA de Pédologie, Paris VI. Document multigraphié, 74 p.
- RASPLUS L., 1982. — Contribution à l'étude géologique des formations continentales détritiques tertiaires du sud-ouest du Bassin de Paris. Mémoire Sciences géologiques n° 66. Strasbourg, 236 p.
- RIVIERE A., 1977. — Méthodes granulométriques. Techniques et interprétations. Masson, Paris, 170 p.

