

Les planosols du nord de l'Uruguay

Jean-Pierre ROSSIGNOL

Pédologue, Laboratoire de Sciences du Sol, Ecole Nationale d'Ingénieurs des techniques Horticoles, Angers

RÉSUMÉ

Dans le nord de l'Uruguay, à côté de vertisols lithomorphes se différencient d'autres types de sols.

Des planosols vertiques apparaissent sur certaines pentes longues et faibles. Les horizons B sont identiques à ceux des vertisols lithomorphes. Un horizon A₂ s'individualise par éclaircissement et perte d'argile. La transition avec les horizons B est abrupte. La structure devient moins nette et plus fragile. La porosité se referme, et il apparaît des cavités à côté des fissures. Les smectites sont en quantité moins importante dans la fraction granulométrique inférieure à 2 μ et surtout elles présentent une désorganisation des feuillets se traduisant par une baisse de cristallinité. Il ne semble pas qu'il y ait ni destruction ni transformation de ces argiles mais entraînement vertical ou latéral. Le caractère vertique des horizons B est à l'origine de l'intégration puis de la destruction des revêtements argileux qui pourraient se former.

Dans des microconcavités du plateau ou des pentes, des planosols hydromorphes se développent. Le drainage externe est nul et le drainage interne très réduit. L'excès d'eau des précipitations ne peut pas s'évacuer par écoulement et engorge donc le profil pendant de longues périodes. L'horizon A_{2g} possède une structure massive et lamellaire, une porosité très faible en cavités allongées subhorizontales. Les argiles minéralogiques ont pratiquement disparu et les smectites restantes ont une très faible cristallinité. Entre l'horizon A_{2g} et l'horizon B_{2t}, apparaît un horizon de transition de faible épaisseur où au milieu de matériau à caractères d'horizon B₂ se dissocient de petites taches moins argileuses et plus claires, montrant donc des caractères d'horizon A₂. Cet horizon de transition pourrait signifier un début d'approfondissement de l'horizon A_{2g} aux dépens de l'horizon B_{2t}.

A la vertisolisation qui est omni-présente dans les sols du nord de l'Uruguay se superpose un lessivage dans les horizons supérieurs produisant une planosolisation ; dans ce cas la piézoturbation devient insuffisante pour équilibrer les pertes.

MOTS-CLÉS : Planosols — Vertisols — Basalte — Uruguay.

ABSTRACT

PLANOSOLS IN NORTHERN URUGUAY

In North-Uruguay, near lithomorph vertisols, other types of soils exist.

Vertic planosols appear on some long and light slopes. The B horizons are identical to those of lithomorph vertisols. A₂ horizon is individualized by enlightenment and loss of clay. The transition with B horizons is abrupt. The structure becomes less clean and more fragile. The porosity closes and cavities appear next to fissures. The smectites are in less important quantity in the granulometric fraction of less than 2 μ in size and especially present disorganization of the clay layers resulting in a decrease in crystallinity. These clays do not seem to undergo either destruction or transformation but vertical or lateral leaching. The vertic character of B horizons is at the origin of the integration then of the destruction of clay skins which could form.

In the microconcavities of table-land or slopes, hydromorph planosols are developed. The external drainage does not exist and the internal drainage is very reduced. The excess of water from precipitations cannot be drained by out flow and waterlog the soil during long periods. The A_{2g} horizon has a massive and platy structure, a very low porosity in elongated subhorizontal cavities. The clay minerals have practically disappeared and the remaining smectites have a very low crystallinity. Between the A_{2g} horizon and the B_{2t} horizon there appears a low thickness transition horizon where, at the middle of materials which have B₂ horizon characters there exist small less clayey and clearer spots showing A₂ horizon characters. This transition horizon could mean a beginning of A_{2g} horizon deepening at the top of B_{2t} horizon.

At the vertisolisation which is omnipresent in North-Uruguay a leaching is superimposed in the superior horizons making planosolisation : in this case the « peizoturbation » becomes insufficient to compensate the loss.

KEY WORDS : Planosols — Vertisols — Basalt — Uruguay.

RESUMEN

PLANOSOLS EN EL NORTE DEL URUGUAY

En el norte del Uruguay, al lado de los vertisols litómorfos, se desarrollan otros tipos de suelos.

Planosoles verticos aparecen sobre algunas pendientes largas y leves. Los horizontes B son idénticos a los de los vertisoles litómorfos. Un horizonte A₂ individualizase por esclarecimiento y pérdida de arcilla. La transición con los horizontes B es abrupta. La estructura ponese menos neta y mas fragile. La porosidad esta cerrandose y aparece cavidades al lado de las fisuras. Las smectitas son en cantidad menos importante en la fracción granulométrica inferior a 2 μ y sobre todo presentan una desorganización de los folios arcillosos traducidiendose por una baja de cristalinidad. No parece que existe destrucción o transformación de estas arcillas sino lixiviación vertical o laterale. El caracter vertico de los horizontes B es al origen de la integración y luego de la destrucción de los revestimientos arcillosos que podrian formarse.

En las microconcavidades de la meseta, planosoles hidrómorfos se desarrollan. El drenaje externo es nulo y el drenaje interno muy reducido. El exceso de agua de las precipitaciones no puede evacuarse por derrame y atasca el perfil durante largas periodos. El horizonte A_{2g} tiene una estructura masiva y laminar, una porosidad muy ligera en cavidades alargadas subhorizontales. Las arcillas mineralogicas han praticamente desaparecidas y las smectitas que quedan tienen una muy baja cristalinidad. Entre el horizonte A_{2g} y el horizonte B_{2t} aparece un horizonte de transición de poco espesor donde, al medio de materiales con características de horizonte B₂, se disocia pequenos moteados menos arcillosos y mas claros, mostrando características de horizonte A₂. Este horizonte de transición podria significar un principio de ahonde del horizonte A_{2g} por la cima del horizonte B_{2t}.

A la vertisolización que esta omnipresente en los suelos del norte del Uruguay se superpone una lixiviación en los horizontes superficiales que permite planosolización ; en este caso el « piezo-automesclado » ponese insuficiente para equilibrar las perdidas.

TERMINOS LLAVES : Planosoles — Vertisoles — Basalt — Uruguay.

INTRODUCTION

Dans le Nord de l'Uruguay, les vertisols sont les sols prédominants qui se développent sur un substratum basaltique (ROSSIGNOL, 1983). Deux types voisinent en fonction de leur position topographique, les vertisols topomorphes et les vertisols lithomorphes.

A côté des vertisols lithomorphes vont apparaître des sols à profils différenciés : ce sont des planosols. Ils recouvrent de petites surfaces.

Dans cette partie nous allons nous attacher à décrire les planosols et à les comparer aux vertisols lithomorphes décrits dans le précédent article.

1. LE PLANOSOL VERTIQUE

Sur certaines pentes longues et faibles, des langues grossièrement allongées dans le sens de la plus grande pente accueillent des planosols vertiques. Le microrelief de surface a totalement disparu ; les langues de planosols peuvent remonter jusqu'à la rupture de pente du plateau. L'imbrication des vertisols et des planosols se fait sur la même pente.

(a) *Description et caractéristiques analytiques* (Fig. 1 et annexe 1)

Les caractéristiques principales sont les suivantes :

L'horizon A₁, de 0 à 15 cm, présente une structure polyédrique subanguleuse peu nette, fragile. Sa texture est à dominance limoneuse. Le taux de matière organique se situe vers 6 % ; le pH est relativement acide 5,5 à 5,8. Le complexe est partiellement désaturé (83 %).

L'horizon A₂, de 15 à 30 cm, est un horizon plus clair présentant une structure polyédrique subanguleuse peu nette et fragile ayant une tendance à la structure particulaire (à l'état sec). Sa texture est à dominance limoneuse. La transition avec l'horizon sous-jacent est très nette. Le pH eau est supérieur à celui de l'horizon A₂ (6,1). Le taux de matière organique diminue fortement (3,6 %). Le complexe est partiellement désaturé (90 %).

Les horizons B₂, de 30 à 85 cm, sont de couleur noire et présentent une texture argileuse. Le taux d'argile est maximum vers 70 cm puis décroît ensuite. La structure est polyédrique nette et présente à la partie supérieure une tendance prismatique et à la partie inférieure des plaquettes obliques se recoupant. Des fentes de retrait sont visibles à la partie supérieure. Quelques revêtements noirs ont été observés.

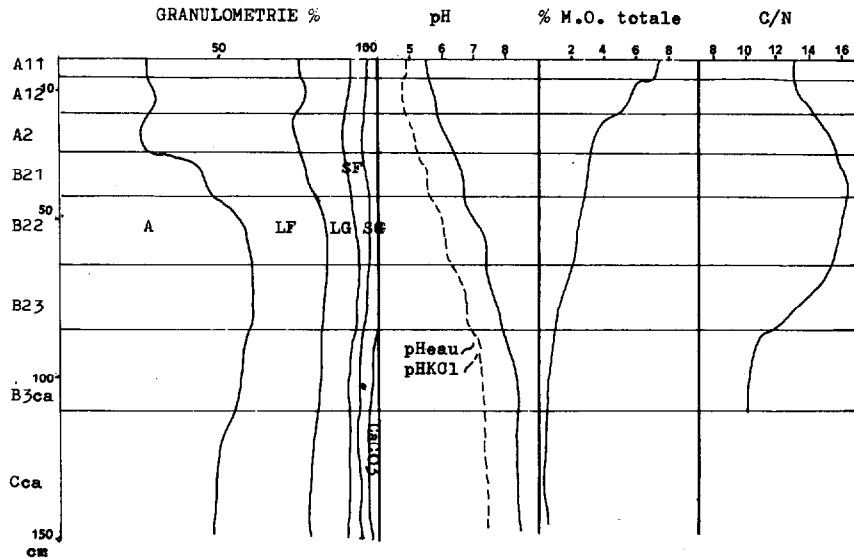
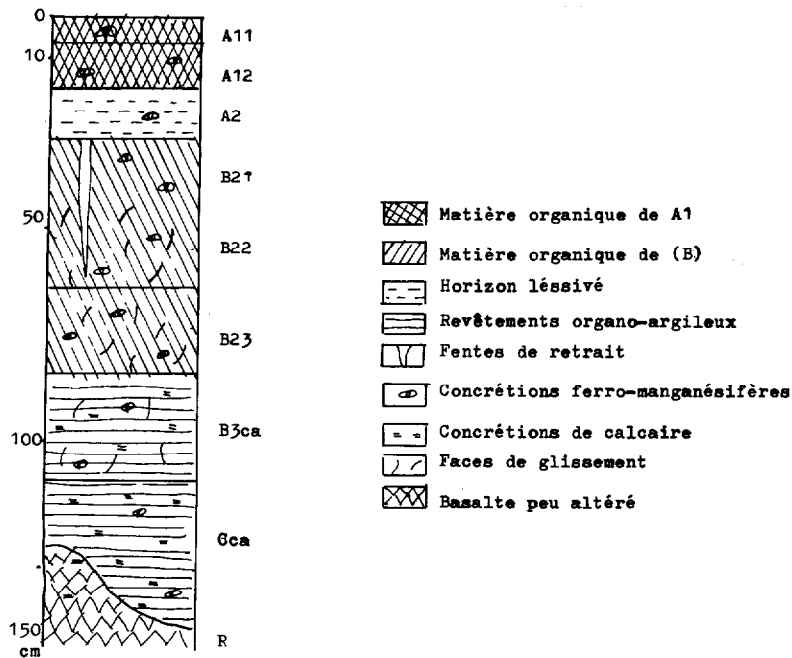


DIAGRAMME DE QUELQUES DONNEES ANALYTIQUES

Fig. 1. — Planosol verticale

Les faces de glissement deviennent nombreuses et de grande taille vers 80 cm de profondeur.

Des nodules et pédodes calcaires apparaissent vers 1 m.

La différenciation texturale entre les horizons A et B est bien marquée ; la transition entre les horizons A₂ et B₂ est très nette, soulignée par l'éclaircissement de l'horizon A₂, celui-ci est le siège d'un appauvrissement en argile et en matière organique.

Les caractères d'accumulation sont peu marqués dans les horizons B ; des revêtements organo-argileux sont observés seulement dans la partie supérieure de l'horizon B₂. La présence de faces de glissement et de fentes de retrait indiquent des horizons à caractères verticaux, fortement dynamiques.

de cavités qui parfois semblent se remplir par l'entassement de petits agrégats. La porosité la plus faible est dans l'horizon A₂. Cet horizon qui se referme est aussi celui où le taux d'argile est le plus faible et la structure la moins stable.

Les microinclusions, visibles à fort grossissement ponctuent les matrices de tous les horizons ; la nature exacte de celles-ci est difficile à déterminer (débris charbonneux, minéraux opaques, défauts de fabrication).

Les revêtements argileux semblent un peu plus nombreux que dans le vertisol lithomorphe, mais ils sont aussi pour la plupart intégrés à la masse et déformés. Quelques uns revêtent les bords des vides. Ces revêtements argileux témoigneraient d'une illuviation dans les horizons B. Par contre le caractère dynamique de l'horizon, entraînant l'intégration au fond matriciel des revêtements puis leur déformation, ne permet pas de se rendre compte de l'ampleur du phénomène.

NETTLETON, FLACH, BRASHER (1969) montrent qu'il existe une relation entre assemblage plasmique et présence de revêtements argileux : ceux-ci sont courants dans les horizons à assemblage insépique et mosépique et absents dans ceux à assemblage omnisépique et masépique. Dans les horizons B₂ du planosol vertique l'assemblage plasmique est de type intermédiaire ; les revêtements visibles sont pour la plupart déjà intégrés à la masse et déformés.

La présence de concrétions et nodules ferrugineux dans tous les horizons montre qu'il y a des phénomènes de redistribution du fer en liaison avec des périodes d'aération réduites. Ces nodules et concrétions sont insérés dans le fond matriciel et ne sont pas en relation avec les fentes et les cavités. Ils se formeraient par imprégnation du plasma et concentration localisée (BOULET, 1978).

Les nodules et pédodes calcaires se rencontrent dans les horizons profonds au contact avec le basalte, roche peu poreuse. Ils sont le plus souvent incorporés au fond matriciel. Ils n'englobent pas ou peu d'éléments du squelette avoisinant. Plusieurs hypothèses peuvent être évoquées pour leur formation : la pression de cristallisation de la calcite expulse les éléments du squelette, des phénomènes d'épigénie remplacent les grains du squelette par la calcite (BOULET, 1978). Le calcium peut être apporté dans les horizons par les eaux de percolation du profil.

Le quartz est présent dans toutes les fractions granulométriques sur l'ensemble du profil, comme dans les vertisols lithomorphes.

En résumé, dans ce profil, les horizons de surface se différencient nettement des horizons de profondeur qui possèdent des caractéristiques identiques aux horizons profonds du vertisol lithomorphe ; les horizons superficiels les ont perdues.

(c) Données minéralogiques (Fig. 2)

Smectites : l'étude aux R.X. a montré la présence de smectites dans tous les horizons. Les pics de la première réflexion sont fins et élancés dans les horizons profonds (B₂) indiquant des minéraux argileux bien cristallisés ; par contre dans les horizons A (A₁ et A₂) ces pics sont courts et trapus d'où une faible cristallinité.

Autres minéraux : les argiles micacées, les minéraux à 7 Å, le quartz et les plagioclases ont été reconnus sur les diagrammes.

Les smectites sont en grande quantité dans les horizons B (50 à 60 %), alors qu'elles atteignent à peine 30 % dans l'horizon A₂. Le quartz pour sa part varie en sens inverse (de 40 % en A à 20 % en B). Les argiles micacées, les minéraux à 7 Å et les plagioclases restent constants.

Les horizons A, éluviaux, sont caractérisés par la diminution du taux des smectites, ainsi que par la diminution du degré de cristallinité.

Il semble que les entraînements d'argile se limitent seulement aux smectites. Ceci serait dû aux mécanismes de lessivage préférentiel qui affectent les particules de petite taille (PAQUET, 1969).

(d) La matière organique

La matière organique humifiée se retrouve en grande proportion (94 % de la matière organique totale en A₁, 99 % en A₂ et B₂₂). L'humine représente 65 % de la matière organique totale pour les horizons A₁ et B₂₂ ; en A₂ ce pourcentage diminue légèrement (46 %).

Les acides fulviques sont peu importants et diminuent rapidement au niveau du A₂ (18 % en A₁, 11 % en A₂, 7 % en B₂₂) ; la fraction F₁ des acides fulviques libre est très faible (inférieure à 2 %).

Par contre, les acides humiques augmentent au niveau de l'horizon A₂ où ils présentent un maximum (21 % en A₁, 41 % en A₂, 35 % en B₂₂). Les acides humiques gris sont toujours prédominants sur les acides humiques bruns.

Les C/N de la matière organique totale et de l'humine augmentent en profondeur (de 11 à 16).

(e) Classification

Ce « planosol vertique » pourrait être un « vertic » argialbols de la Soil taxonomy (1975).

2. LE PLANOSOL HYDROMORPHE

Le planosol hydromorphe vertique apparaît localement dans des concavités de petites tailles se situant soit sur les plateaux soit sur les pentes faibles. Les conditions topographiques sont à l'origine d'un drainage externe nul. L'eau en excès ne peut s'évacuer et peut engorger le profil pendant des périodes assez longues.

(a) Description et caractéristiques analytiques (Fig. 3 et annexe 2)

— L'horizon A_{1g}, de 0 à 15 cm, est noir avec des taches brun grisâtre. La structure est polyédrique subanguleuse peu nette associée à une structure massive. La texture est limono-argileuse. Le pH est relativement acide (5,4) et le complexe partiellement désaturé (75 %). Le taux de matière organique est assez élevé (5,7 %).

— L'horizon A_{2g}, de 15 à 35 cm, gris à gris clair présente de nombreuses taches brun grisâtre en trainées horizontales. La structure est massive avec des tendances à des structures

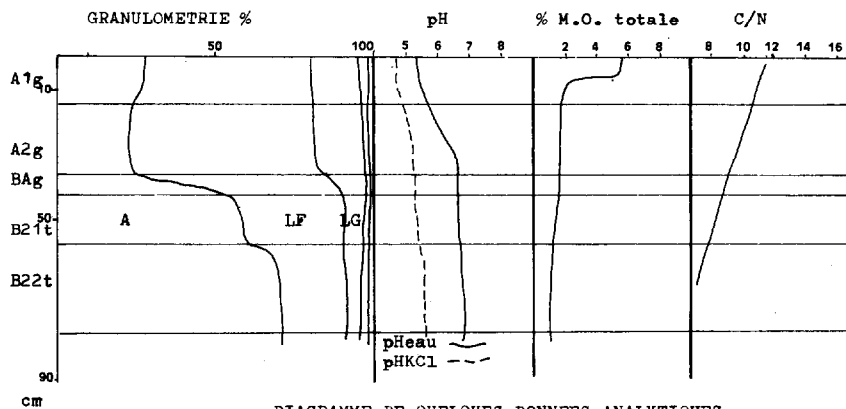
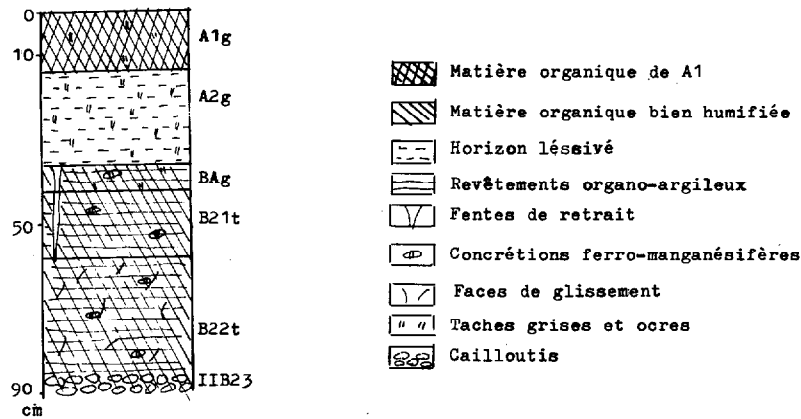


Fig. 3. — Planosol hydromorphe

particulare et lamellaire. La texture est limono-argileuse. La transition avec l'horizon sous-jacent est nette. Le pH est neutre (6,3) et le complexe est partiellement désaturé (96 %). Le taux de matière organique est assez faible (1,8 %).

— L'horizon BA_g est peu épais (6 cm). Il présente des taches de couleur claire comme l'horizon A₂, de forme arrondie et de texture plus limoneuse. Le reste de l'horizon est noir, à structure polyédrique et surstructure prismatique. Quelques revêtements noirs, organo-argileux recouvrent les faces des agrégats. Des fentes de retrait parcourent verticalement l'horizon. Le pH est neutre (6,6) et le complexe est saturé. Le taux de matière organique est légèrement plus faible (1,5 %).

— L'horizon B_{21t}, de 40 à 60 cm, noir est argilo-limoneux avec une structure polyédrique moyenne et grossière. Des revêtements organo-argileux recouvrent les faces des agrégats. Les fentes de retrait descendent dans cet horizon. Le pH est neutre (6,7). Le taux de matière organique décroît lentement (1,3 %).

— L'horizon B₂₂, de 60 à 85 cm est noir et argileux. La structure est polyédrique grossière. Quelques faces de glissement et de pression apparaissent. Aucun revêtement organo-argileux n'a été mis en évidence. Le pH est neutre (6,8) et le taux de matière organique légèrement plus faible que dans l'horizon B₂₁ (1,1 %).

Dans ce profil, la différence de texture entre les horizons A et B est importante, de limoneuse à argileuse. L'horizon A_{2g} est nettement éclairci. La transition entre les horizons A_{2g} et BA_g est nette. La structure de l'horizon A_{2g} est peu nette et fragile. Ce sont des caractéristiques de planosols.

Les horizons B (B_{21t} et B₂₂) montrent des caractères qui les rapprochent des horizons profonds des profils précédents. Des fentes de retrait sont présentes dans les horizons B_{21t} et BA_g ; quelques faces de glissement sont présentes dans le B₂₂. Par contre, la structuration en plaquettes obliques ne se retrouve pas. Les caractères verticaux semblent assez peu développés dans ces horizons.

Des revêtements organo-argileux sont présents dans les horizons BAg et B_{21t}. Les caractères d'accumulation d'argile semblent donc mieux exprimés dans ces horizons que dans ceux du planosol vertique. Mais ces marques d'illuviation restent assez superficielles au niveau des horizons BAg et B_{21t}. Les caractères vertiques étant moins exprimés les mouvements du sol ont moins d'ampleur et l'intégration des revêtements argileux pourrait être moins active.

Dans l'horizon A_{2g}, la présence de taches indique une hydromorphie temporaire due en partie à son emplacement dans une microconcavité du plateau.

Entre l'horizon A_{2g} et B_{21t}, un horizon de faible épaisseur (6 cm) a été défini comme un BA. Au sein de cet horizon, des taches claires, de même couleur que la A_{2g} apparaissent ; la texture de celles-ci est plus limoneuse que celle du matériau avoisinant. Les zones qui ont des caractéristiques de l'horizon A_{2g} sus-jacent ponctuent un matériau à caractères d'horizon B. Cet horizon BA pourrait traduire un début d'approfondissement de l'horizon A_{2g} aux dépens de l'horizon B.

Des sols présentant des caractéristiques communes avec le planosol vertique et le planosol hydromorphe ont été décrits dans d'autres régions. C'est le type argialboll de la Soil taxonomy (1975). Ces sols ont un horizon argillique présentant des revêtements, gris très foncé à noir, d'humus et d'argile sur les agrégats dans la partie supérieure de cet horizon. Un horizon albique est toujours présent, la transition avec l'horizon argillique est brutale. La différence de texture est importante.

Certains de ces sols présentent des faces de glissement à la partie inférieure des horizons B₂. L'horizon B a des colorations noires à gris très foncé. Certains de ces sols présentent un horizon A et B de faible épaisseur. Les pH sont légèrement acides en A (5,6 à 6), ainsi que dans les horizons B. Le complexe adsorbant est légèrement désaturé dans les horizons A (82 %) et saturé dans les horizons B. De même, quelques sols de Colombie décrits par FAIVRE (1977) présentent un horizon B vertique surmonté par un horizon éluvial clair, de pH légèrement acide (5,3 - 5,7) mais une saturation du complexe de l'ordre de 50 %.

En résumé, ce profil présente les caractéristiques d'un planosol dont les horizons supérieurs sont influencés par une hydromorphie temporaire et les horizons inférieurs par des phénomènes vertiques assez peu développés.

(b) Description microscopique

Comme dans le planosol vertique, les horizons A diffèrent des horizons B.

Les horizons B présentent les mêmes caractéristiques que celles des deux profils précédents. L'assemblage plasmique est de type squel-vo-ma-insépique dans l'horizon B_{21t} et squel-insépique dans l'horizon B₂₂. Ce dernier horizon présente une matrice à domaines moins orientés ; il n'existe pas de tendance vésopique et masépique caractéristique des contraintes s'exerçant dans les horizons vertiques (BLOKHUIS, SLAGER, VAN SCHAGEN, 1970). Ceci est en relation avec la description macromorphologique. L'horizon B₂₂ a une struc-

ture polyédrique moyenne à grossière et des faces de glissement peu nombreuses. Cet horizon a donc de faibles caractères vertiques.

Les horizons A ont un assemblage plasmique argilasépique à insépique ; ils reflètent l'absence de mouvements et de contraintes par diminution du taux d'argile.

L'horizon BAg a un assemblage plasmique insépique ; en lumière naturelle, la coloration est hétérogène et présente des zones plus sombres et plus claires, qui pourraient être reliées aux parties grises et noires décrites en macromorphologie.

La porosité des différents horizons est faible. La porosité sous forme de fissures, dominante dans les profils précédents, est ici moins développée. On la retrouve dans les horizons A_{1g}, BAg et B_{21t}, toujours associée à des cavités. Dans les horizons A_{2g} et B₂₂ les cavités prédominent. Dans l'horizon A_{2g} les cavités sont horizontales et aplaties, et la structure suit cette porosité. Cette porosité faible est en relation avec la structure peu nette de l'horizon et son fort taux de limon, ainsi que la présence de taches d'oxydo-réduction.

Les microinclusions, visibles à fort grossissement, ponctuent la matrice de tous les horizons : la nature exacte de celles-ci est difficile à déterminer (débris carbonneux, minéraux opaques, défauts de fabrication).

Les revêtements argileux sont présents dans les horizons B_{21t} et B₂₂. Ils sont plus nombreux que dans les deux profils précédents (10 à 15 %). Ils sont pour la plupart intégrés et déformés. Il existe donc une illuviation dans les horizons B. Mais les mouvements internes des horizons les intègrent progressivement à la masse.

Dans l'horizon A_{2g}, il existe quelques revêtements complexes limono-argileux, observés dans les cavités, en liaison avec la structure peu nette et instable.

Un matrane a été observé dans l'horizon B₂₂ ; des fragments d'horizon A peuvent donc être entraînés par les fentes de retrait présentés dans les horizons B, vers la profondeur. L'intégration de ce matériau se produit ensuite lors des réhumectations.

Dans tous les horizons du profil se retrouvent des nodules et concrétions ferrugineuses : ils sont insérés dans le fond matriciel sans relation avec les fentes ou les cavités. Ils peuvent indiquer l'existence de périodes d'aération réduites permettant la réduction du fer.

Le squelette, comme pour les profils précédents, est riche en quartz ; l'origine du matériau peut donc être complexe par rapport au basalte sous-jacent. D'autant plus que l'horizon B₂₂ repose sur un cailloutis et non sur un basalte.

En résumé, les caractéristiques microscopiques de ce profil rejoignent celles du profil précédent ; certaines d'entre elles sont plus marquées, comme par exemple l'organisation de l'horizon A, tandis que d'autres régressent, comme le caractère vertique des horizons profonds, permettant d'observer un plus grand nombre de revêtements argileux.

(c) Données minéralogiques de la fraction granulométrique inférieure à 2 μ (Fig. 4).

L'étude aux R.X. a permis de mettre en évidence deux groupes d'horizons de comportements différents : les horizons B₂ et les horizons A.

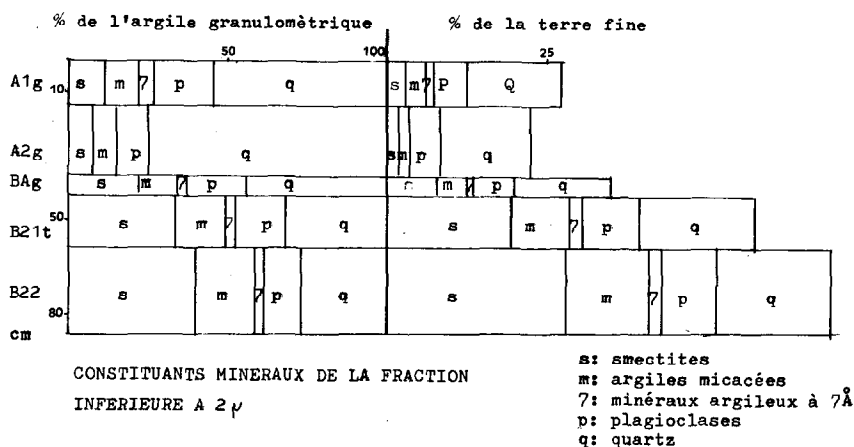
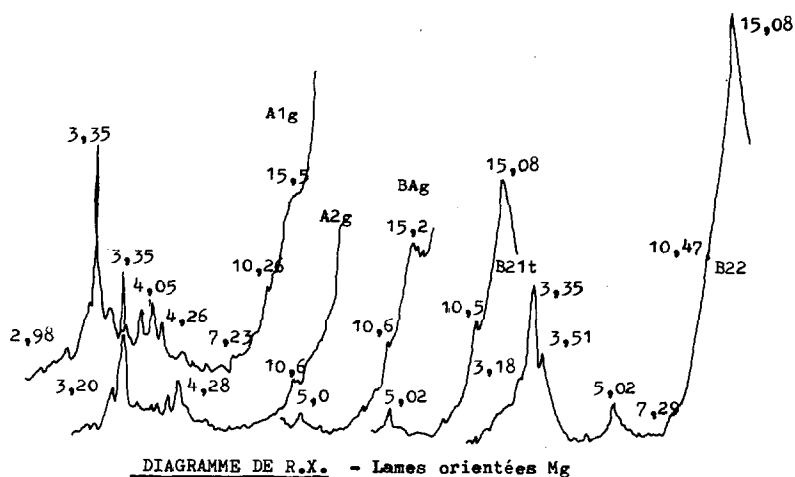


Fig. 4. — Planosol hydromorphe

Les horizons B : les constituants minéralogiques sont des smectites-beidellites, présentant les mêmes caractéristiques que dans les profils précédents, des argiles micacées, des minéraux à 7 Å, du quartz et du plagioclase.

Les horizons A : les constituants minéralogiques sont similaires pour la plupart à ceux des horizons B. Mais, les pics des smectites sont mal individualisés, petits et trapus, surtout dans l'horizon A_{2g} ; les smectites sont présentes mais en très faible quantité et avec un degré de cristallinité très faible. Les minéraux à 7 Å n'apparaissent pas dans l'horizon A_{2g}.

Les valeurs semi quantitatives permettent de montrer que le quartz est prédominant dans les horizons A_{1g} et A_{2g} (45 et 75 %), avec un faible taux de smectites (inf. à 10 %). Il monte à 40 % dans les horizons B. Les plagioclases, les argi-

les micacées et les minéraux à 7 Å restent constants (en pourcentage) sur l'ensemble des profils.

L'appauvrissement en argile dans les horizons A se manifeste surtout par la quasi disparition des smectites ; l'effet maximum se situe dans l'horizon A_{2g} où on observe aussi la disparition des minéraux à 7 Å. Par contre, le quartz devient prédominant, par accumulation sélective, dans les horizons éluviaux. Parallèlement à cette disparition, le degré de cristallinité diminue avec aussi un minimum dans l'horizon B₂₂.

(d) La matière organique

La matière organique humifiée se trouve en grande quantité par rapport à la matière organique totale (94 % en A_{1g}

TABLEAU I
Comparaison entre les horizons B

Profils Caractéristiques des horizons B	Vertisol lithomorphe	Planosol vertique	Planosol hydromorphe
Couleur	(B) ₂ - 5YR 2,5/1 - gris foncé à noir	B ₂₂ : 10 YR 2/0,5 - noir B ₂₃ : 10 YR 2/1 - noir	B ₂₂ ^t = 10 YR 2,5/1 noir à gris foncé
Texture	- Argile	Argile	Argile
Structure	- plaquettes obliques et polyédrique grossière et très grossière - et sous structure fine identique	B ₂₂ : polyédrique subanguleuse B ₂₃ : grossière et moyenne, nette, associée à une structure en plaquettes obliques	= polyédrique, moyenne et grossière, nette
Faces de glissement	- Faces de glissement nombreuses	B ₂₂ : Faces de glissement peu nombreuses B ₂₃ : Faces de glissement nombreuses	= faces de glissement peu nombreuses = faces de pression

TABLEAU II
Comparaison entre les horizons A

Caractéristiques des horizons A	Vertisol lithomorphe	Planosol vertique	Planosol hydromorphe
Couleur	A ₁ : 10 YR 2/1 - Noir A ₃ : 10 YR 2/0,5 - Noir	A ₁ : 10 YR 3,5/1 - gris très foncé A ₂ : 10 YR 4,5/1 - gris très foncé à gris 10 YR 3/1	A ₁ g : 10 YR 2,5/1 - gris très foncé taches A ₂ g : 10 YR 6/1 - gris à gris clair nombreuses taches
Texture	A ₁ : limon argileux fin A ₃ : Argile limoneuse	A ₁ : limon argileux fin A ₂ : limon fin argileux	A ₁ g : limon fin argileux A ₂ g : limon fin argileux
Structure	A ₁ : polyédrique subanguleuse fine, très fine A ₃ : polyédrique subanguleuse moyenne et grossière très nette (surstructure prismatique)	A ₁ : polyédrique subanguleuse moyenne et fine, nette A ₂ : polyédrique subanguleuse moyenne et grossière peu nette. (associée à structure particulaire)	A ₁ g : polyédrique subanguleuse moyenne, peu nette (associée à structure massive) A ₂ g : Structure massive, nette (sous-structure particulière-associée à structure lamellaire grossière)
Limites entre horizons	A ₁ /A ₃ : nette et régulière A ₃ /(B) ₁ : graduelle et régulière	A ₁ /A ₂ : distincte et régulière A ₂ /B ₂₁ : très nette et régulière	A ₁ g/A ₂ g : distincte et régulière A ₂ g/BA : nette et régulière

de sols (vertisol lithomorphe, planosol vertique, planosol hydromorphe) proviennent des horizons A. Le tableau III montre l'évolution des caractéristiques des horizons A d'un profil à l'autre. Les variations les plus importantes résident au niveau, d'une part, de la matrice et d'autre part de la porosité.

L'assemblage plasmique voit sa biréfringence diminuer fortement ; le type varie de quel-vo — ma-insépique peu développé à argilasépique. Cette propriété est en relation avec la

forte diminution du taux d'argile et l'augmentation corrélative du taux de limons fins dans ces horizons.

La porosité varie de façon importante d'un sol à l'autre ; dans le vertisol c'est un réseau de fissures qui parcourt l'espace ; dans les planosols ces fissures semblent remplacées progressivement par des cavités. L'horizon A₂g du planosol hydromorphe ne montre pratiquement que des cavités. En même temps, les horizons se referment, la porosité diminue fortement du vertisol au planosol hydromorphe.

TABLEAU III

Evolution des horizons A du vertisol lithomorphe et des planosols vertiques et hydromorphes

CARACTERISTIQUES DES HORIZONS A	VERTISOL LITHOMORPHE	PLANOSOL VERTIQUE	PLANOSOL HYDROMORPHE
Matrice	A ₁ : squelet-vo-insépique peu développé. A ₃ : squelet-ma-insépique peu développé.	A ₁ : insépique peu développé à argilasépique. A ₂ : insépique peu développé à argilasépique.	A _{1g} : argilasépique à insépique peu développé. A _{2g} : argilasépique à insépique peu développé.
Vides	A ₁ et A ₃ : réseau de fissures subhorizontales et subverticales. 15 à 20 % en surface.	A ₁ : cavités principalement et quelques fissures. 20 % de la surface environ. A ₂ : fissures subverticales et petites cavités. 7 à 10 % de la surface.	A _{1g} : fissures subverticales et quelques cavités. 7 à 10 % de la surface. A _{2g} : cavités horizontales et aplaties. environ 7 % de la surface.

Ces propriétés peuvent être mise en relation avec les caractéristiques macroscopiques (Cf. Tabl. II) des horizons A. La perte de porosité est corrélative à la disparition progressive de la structure polyédrique.

Quels que soient l'horizon et le type de sol, des nodules et concrétions ferrugineux de petite taille sont disséminés dans le sol.

Dans les horizons profonds, entre 80 et 100 cm, apparaissent des nodules et pédodes de CaCO₃.

Le squelette des horizons de tous les sols des plateaux montre une très grande richesse en quartz ; cependant les minéraux constitutifs des basaltes sont aussi présents. Ces résultats confirment l'allochtonie relative du matériau argileux par rapport au basalte sous-jacent.

Les horizons B présentent un ensemble de caractéristiques micromorphologiques identiques entre les différents profils. Les quelques variations observées portent sur l'estimation des revêtements argileux. Ceux-ci sont pour la plupart intégrés à la matrice et déformés, ce qui rend très difficile toute quantification. Mais dans le planosol hydromorphe les revêtements argileux sont les plus nombreux et les moins déformés ; c'est dans ce profil aussi que les caractères vertiques sont les moins développés.

Ces observations pourraient être aussi caractéristiques d'un « appauvrissement » en argile des horizons supérieurs des profils. Celui-ci est déjà perceptible dans l'horizon A₁ du vertisol lithomorphe, par une matrice moins biréfringente, en comparaison avec le vertisol topomorphe. Les revêtements argileux observés dans les horizons profonds des sols de plateaux (vertisols et planosols) confirment les observations faites dans les horizons superficiels, mais ne sont pas en relation avec la « perte supposée » d'argile des horizons de surface des planosols. L'intégration des revêtements argileux dans la matrice par piezoturbation permet de répondre en partie au problème, sans pouvoir négliger les autres hypothèses du lessivage oblique ou de la dégradation des argiles.

(c) Minéralogie

L'étude des minéraux argileux des sols décrits permet les constatations suivantes. Dans les horizons profonds (B) et B₂) les smectites sont présentes en quantité importante (Tabl. V) et possèdent une très forte cristallinité. Ces smectites sont des beidellites ferrifères. C'est dans le vertisol topomorphe que celles-ci sont les plus abondantes (75 %).

Dans les sols situés sur les plateaux, les beidellites représentent environ la moitié de la fraction granulométrique inférieure à 2 μ . L'horizon B₂₂ du planosol hydromorphe montre des smectites légèrement moins abondantes avec un moindre degré de cristallinité (forte). Les autres constituants se retrouvent en assez faible quantité.

Les différences les plus importantes vont se retrouver au niveau des horizons A₁, A₃ et A₂ de ces profils (Tabl. IV). Les horizons A₁ et A₃₁ du vertisol topomorphe présentent des caractéristiques de la fraction granulométrique inférieure à 2 μ identiques à celles des horizons sous-jacents : des smectites bien cristallisées et abondantes (75 %). Dans les trois autres profils la cristallinité des smectites est moins bonne et décroît régulièrement du vertisol lithomorphe au planosol vertique, puis au planosol hydromorphe. De même leur abondance varie dans le même sens : environ 40 % dans les horizons A₁ et A₃ du vertisol lithomorphe ; 30 % dans les horizons A₁ et A₂ du planosol vertique ; 10 % dans les horizons A_{1g} et A_{2g} du planosol hydromorphe.

Dans ces horizons la diminution du taux de smectites d'un profil à l'autre est compensée par un enrichissement relatif en quartz de la fraction granulométrique inférieure à 2 μ : 25 % dans les horizons A₁ et A₃ des vertisols lithomorphes, 40 % dans les horizons A₁ et A₂ du planosol vertique, 60 % dans les horizons A_{1g} et A_{2g} du planosol hydromorphe.

Les autres constituants (argiles micacées, minéraux à 7 Å, plagioclases) se retrouvent à peu près en même proportion quel que soit l'horizon A.

TABLEAU IV
Caractéristiques minéralogiques de la fraction inférieure à 2μ dans les horizons A des sols profonds

Carac- téristiques	Sols		Vertisol lithomorphe		Vertisol topomorphe		Planosol vertique		Planosol hydromorphe	
	A ₁	A ₃	A ₁	A ₃	A ₁	A ₃₁	A ₁	A ₂	A _{1g}	A _{2g}
Smectites	A ₁	++	A ₁	+++++	A ₁	+++++	A ₁	++	A _{1g}	+
- cristallinité	A ₃	+++	A ₃₁	+++++	A ₃₁	+++++	A ₂	++	A _{2g}	+
- %	A ₁	36 %	A ₁	75 %	A ₁	75 %	A ₁	30 %	A _{1g}	12 %
	A ₃	42 %	A ₃₁	72 %	A ₃₁	72 %	A ₂	33 %	A _{2g}	8 %
Argiles micacées	A ₁	13 %	A ₁	3 %	A ₁	3 %	A ₁	12 %	A _{1g}	10 %
	A ₃	17 %	A ₃₁	3 %	A ₃₁	3 %	A ₂	11 %	A _{2g}	7 %
Minéraux à 7 Å	A ₁	3 %	A ₁	3 %	A ₁	3 %	A ₁	5 %	A _{1g}	5 %
	A ₃	3 %	A ₃₁	3 %	A ₃₁	3 %	A ₂	7 %	A _{2g}	0 %
Quartz	A ₁	30 %	A ₁	11 %	A ₁	11 %	A ₁	40 %	A _{1g}	54 %
	A ₃	24 %	A ₃₁	12 %	A ₃₁	12 %	A ₂	39 %	A _{2g}	75 %
Plagioclases	A ₁	16 %	A ₁	9 %	A ₁	9 %	A ₁	11 %	A _{1g}	19 %
	A ₃	14 %	A ₃₁	10 %	A ₃₁	10 %	A ₂	12 %	A _{2g}	10 %

cristallinité très forte +++++ ; forte ++++ ; moyenne +++ ; faible ++ ; très faible +

TABLEAU V
Caractéristiques minéralogiques de la fraction inférieure à 2μ dans les horizons (B) et B₂ des sols profonds

Carac- téristiques	Sols	Vertisol lithomorphe horizon (B) ₂	Vertisol topomorphe horizon A ₃₂	Planosol vertique horizon B ₂₂	Planosol hydromorphe horizon B ₂₂
Smectites					
- cristallinité		+++++	+++++	+++++	++++
- %		53 %	75 %	55 %	40 %
Argiles micacées		12 %	5 %	6 %	18 %
Minéraux à 7 Å		3 %	1 %	3 %	3 %
Quartz		20 %	11 %	23 %	27 %
Plagioclases		13 %	8 %	14 %	12 %

(d) Matière organique (Fig. 6)

Dans les profils étudiés, la matière organique est incorporée à la matière minérale jusque dans les horizons profonds. Cette matière organique provient probablement des graminées et de leur système racinaire. Celui-ci descend profondément dans le profil. La matière organique fraîche est donc peu abondante et se décompose très rapidement. Chaque année une partie du système racinaire des graminées est renouvelée, constituant une source de matière organique pour

les horizons du sol. D'autres facteurs interviennent dans cette incorporation profonde de la matière organique : la pénétration possible le long des fentes de retrait et les mouvements de brassage interne du sol qui aboutissent à un mélange de l'horizon superficiel et des horizons sous-jacents.

Les cations bivalents, calcium et magnésium, saturant le complexe adsorbant, peuvent jouer un rôle dans la stabilisation de l'humus qui imprègne le profil.

La fraction libre est réduite au minimum ; en revanche

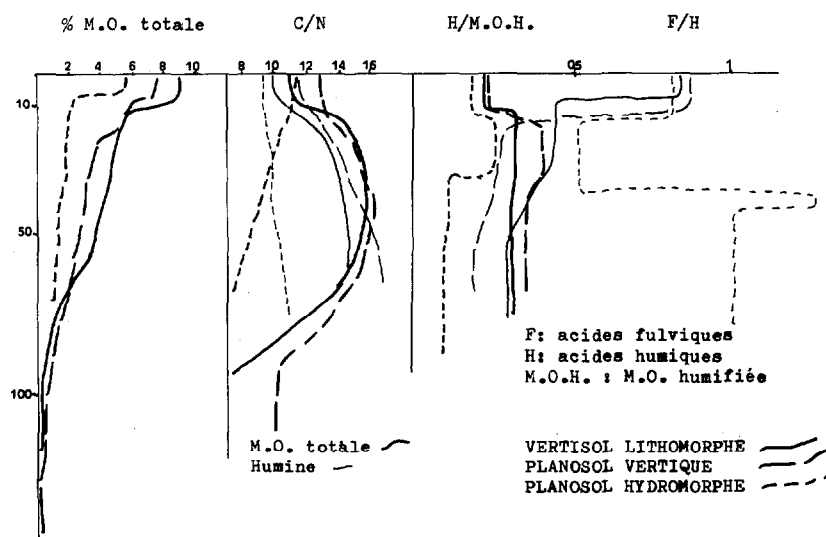


Fig. 6. — Variation de la matière organique

les composés humiques sont en grande quantité : les acides humiques gris et l'humine sont largement majoritaires (NGUYEN KHA, 1973).

Une partie de l'humine peut se trouver en position interfoliaire dans les smectites. En effet, lors de l'étude minéralogique des argiles aux rayons X, les valeurs des pics des premières réflexions des smectites sont légèrement plus élevées que celles données dans la littérature (ROBERT, 1975), pouvant ainsi indiquer la présence de matière organique interfoliaire ; et ceci malgré le traitement préparatoire à H_2O_2 effectué sur l'échantillon avant la séparation des argiles. Il en est de même pour les résultats obtenus à l'A.T.D. où la matière organique, bien que traitée énergiquement à H_2O_2 à chaud, perturbe les graphiques obtenus. Mais il est impossible de déterminer la proportion de matière organique qui se trouve ainsi « piégée » par les smectites.

Le taux de matière organique totale (M.O.T.) des horizons supérieurs (A) des profils étudiés diminue du vertisol lithomorphe au planosol vertique, puis au planosol hydromorphe. Tandis que le rapport R, M.O.T. de A_1 /M.O.T. de A_3 ou A_2 , décroît en sens inverse.

Ainsi R du Vertisol lithomorphe = 1,65
 R du Planosol vertique = 2,08
 R du Planosol hydromorphe = 3,18

Cette diminution du taux de matière organique dans l'horizon A_2 rejoint la disparition des argiles et des smectites en particulier.

Par contre, peu de différences existent dans la composition de la matière organique, quels que soit le profil et les horizons, ainsi l'humine et les acides humiques gris sont en grande proportion. Mais cette matière organique pourrait se trouver sous des formes différentes ; en effet dans les horizons A_2 et surtout dans celui du planosol hydromorphe la proportion de smectites est très faible (inférieure à 10 % de l'argile

granulométrique) contrairement à l'humine qui représente 59 % du carbone total, soit une proportion légèrement plus faible que dans les autres horizons où le taux de smectite est important ; dans ce cas la matière organique type humine ne peut pas être piégée par les smectites.

4. LESSIVAGE ET PLANOSOLISATION

Introduction

En passant d'un profil à l'autre, du vertisol lithomorphe au planosol vertique puis au planosol hydromorphe, il est possible d'observer les modifications suivantes :

— les horizons A s'éclaircissent, un horizon A_2 apparaît ; la structure passe de polyédrique nette à massive peu nette et fragile ; la porosité diminue, les fissures présentes dans l'horizon A_1 du vertisol passent progressivement à des cavités.

— La texture des horizons A devient plus limoneuse, par appauvrissement en argile.

— Les smectites sont prépondérantes dans l'horizon A du vertisol lithomorphe. Leur quantité diminue jusqu'à disparaître presque complètement dans l'horizon A_{2g} du planosol hydromorphe. En même temps, la cristallinité des smectites diminue d'un horizon à l'autre.

— Le taux de matière organique décroît lui aussi dans les horizons A_1 des trois profils ainsi que dans les horizons A_2 .

— Quelques revêtements argileux ont été observés dans les horizons profonds de ces profils, et surtout dans le planosol hydromorphe ; mais le caractère dynamique de ces horizons ne permet pas d'apprécier l'intensité du phénomène ; les revêtements argileux peuvent être détruits par pédoturbation au fur et à mesure de leur formation. Ils sont déformés puis intégrés au fond matriciel.

La diminution du taux d'argile dans les horizons A peut avoir plusieurs interprétations ; soit les argiles sont entraînées par lessivage vertical et/ou oblique et latéral soit elles sont détruites dans l'horizon A et les produits de dégradation sont lixiviés.

Pour expliquer la différenciation des profils de planosols deux hypothèses sont donc possibles :

- dégradation des beidellites
- lessivage des argiles.

Le problème de la transformation des beidellites

H. PAQUET (1969) signale que dans les horizons supérieurs de certains vertisols sur basalte, sous des précipitations supérieures à 1 m, la montmorillonite semble se « dégrader » légèrement. Les précipitations sont suffisantes pour provoquer une désaturation du milieu. Aucune possibilité d'approvisionnement en cations basiques ne peut exister dans les horizons supérieurs.

Ces conditions sont celles des sols de plateaux du Nord de l'Uruguay.

La minéralogie a montré que les smectites des horizons A₁ et A₂ des planosols présentent une faible cristallinité qui serait le témoin d'une certaine désorganisation des feuillets argileux. L'hypothèse d'une destruction et/ou d'une transformation des smectites doit donc être envisagée.

En effet des transformations d'argiles ont été déjà étudiées, comme par exemple dans les sols lessivés glossiques de France (JAMAGNE, 1973 ; EIMBERCK — ROUX, 1977 ; DUCLOUX, 1978) avec hydroxyaluminisation, et dans les sols hydromorphes du Bangladesh (BRINKMAN, 1977) avec chloritisation.

Dans les sols étudiés, et en particulier dans les horizons A₁ et A₂ des planosols vertiques et hydromorphes, l'étude minéralogique des argiles n'a pas mis en évidence de produits de transformation des smectites. Elle a montré que le pH NaF augmente avec la profondeur. Dans les horizons B₂, il avoi-

sine la valeur de 9. Ces valeurs laisseraient supposer que des produits amorphes en faible quantité sont présents dans ces horizons et absents dans les horizons supérieurs. Dans les horizons inférieurs ni les R.X., ni l'A.T.D. n'ont laissé supposer leur existence. Ils sont donc en faible quantité quel que soit le sol. Ces résultats concordent avec ceux de H. PAQUET (1969) et NGUYEN KHA (1973).

Le taux de fer libre et les rapports fer libre/fer total ne varient pas d'un horizon à l'autre (Fig. 6), ce qui serait l'indice d'absence de libération du fer par transformation et/ou destruction des beidellites.

Les produits amorphes présents dans les horizons profonds pourraient avoir pour origine uniquement les produits d'hydrolyse des minéraux primaires existant dans les fractions granulométriques argiles et limons fins (plagioclase, augite, olivine).

Dans ces conditions, les beidellites des horizons supérieurs des planosols et, dans une moindre mesure, celles des horizons supérieurs des vertisols lithomorphes subiraient une désorganisation du réseau cristallin, se traduisant par un faible degré de cristallinité, sans destruction ni transformation réelle de structure ; on serait donc en présence de « beidellites désordonnées ».

Les conditions de lessivage

(a) La texture

Dans l'étude minéralogique de la fraction granulométrique inférieure à 2 μ , la disparition préférentielle des smectites a été mise en évidence et devient presque totale dans l'horizon A_{2g} du planosol hydromorphe.

Les smectites sont des argiles de petite taille et les mécanismes de lessivage les affectent en premier (PAQUET, 1969). H. PAQUET a remarqué l'instabilité de ces smectites lorsque les précipitations dépassent 1.000 mm/an, ce qui est le cas dans le nord de l'Uruguay (P = 1.200 mm/an).

La diminution du taux d'argile dans les horizons A des vertisols lithomorphes et des planosols (vertiques et hydro-

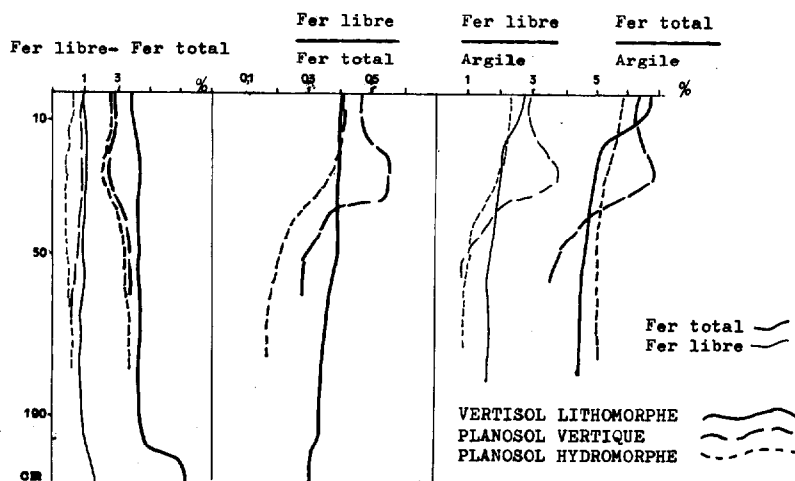


Fig. 7. — Variations du Fer total et du Fer libre

morphes) semble s'accompagner d'une augmentation d'argile dans les horizons profonds (Fig. 7).

On peut tenter de caractériser ces variations par le rapport :

$$L = \frac{\text{Argile \% en B maximum}}{\text{Argile \% en A minimum}}$$

Vertisol lithomorphe : L compris entre 1,3 et 1,9.

Planosol vertique : L compris entre 2,2 et 3,0.

Planosol hydromorphe : L supérieur à 3,0.

Le vertisol topomorphe a un rapport $L = 1,1$, très faible, qui semble traduire l'absence de lessivage. Par contre dans les vertisols lithomorphes, en position de drainage externe possible, l'horizon A_1 a une texture moins argileuse que les horizons (B). Ceci semblerait montrer que l'horizon A_1 des vertisols lithomorphes présente un début d'entraînement d'argile.

Le rapport L doit toutefois être interprété avec précaution : en effet, l'augmentation d'argile dans les horizons (B) et B_2 peut avoir comme origine non seulement l'apport par entraînement des argiles des horizons A, mais aussi la néoformation des beidellites en milieu confiné.

Cependant la teneur en argile des horizons B apparaît relativement constante ; l'apport dû à l'argile lessivée est faible par rapport aux quantités d'argile initiale et néoformée. On peut, malgré ces remarques, porter un jugement sur la variation du taux d'argile en A à partir du rapport $\frac{A \% \text{ en B}}{A \% \text{ en A}}$

En ce sens, il apparaît que l'horizon A_1 des vertisols lithomorphes présente un début d'éluviation en argile.

(b) Les caractéristiques physico-chimiques

le pH eau. Il est important de rappeler tout d'abord que les pH des horizons de surface des vertisols lithomorphes sont relativement acides ; par exemple le vertisol lithomorphe a un pH de 5,5 en A_1 et 5,9 en A_3 ; DUDAL (1967) avait déjà

signalé que certains vertisols ont des pH d'horizons superficiels compris entre 5,0 et 5,8. Les autres vertisols lithomorphes étudiés présentent des pH identiques. Ce sont des pH faibles pour des vertisols.

Par contre les vertisols topomorphes possèdent des pH de surface proche de la neutralité : 6,5 en A_1 et 7,2 en A_{31} , valeurs proches de celles des vertisols cités dans la littérature.

Les pH des planosols (vertiques et hydromorphes) sont identiques, relativement acides en surface (5,5 et 5,4), ils augmentent progressivement avec la profondeur (7,0 en B_2 et 8,3 dans les horizons calcaires). le pH faible, en surface, aussi bien dans les vertisols lithomorphes que dans les planosols, peut être considéré comme un facteur favorable au processus de lessivage. En effet, cette fourchette de pH des horizons de surface est d'une part trop élevée pour qu'il existe de l'aluminium échangeable (Al^{+++}) fortement flocculant et d'autre part trop faible pour que les cations Ca^{++} et Mg^{++} soient en concentration suffisante, de même pour l'ion hydrogène (H^+).

La flocculation des argiles et des acides organiques n'est donc pas favorisée à ces valeurs de pH.

— La capacité d'échange cationique (Fig. 7). Le pourcentage de saturation du complexe adsorbant ainsi que la répartition des différents cations jouent un rôle sur le lessivage.

La comparaison entre les différents types de sols (vertisols et planosols) montre une légère différence d'un type de sol à l'autre, d'une part du taux de saturation et d'autre part de la garniture cationique, spécialement en calcium et magnésium.

La saturation du complexe dans les horizons A_1 décroît légèrement du vertisol lithomorphe (94 %) au planosol vertique (82 %), puis au planosol hydromorphe (74 %). Mais quel que soit le type de sol, le complexe adsorbant est saturé

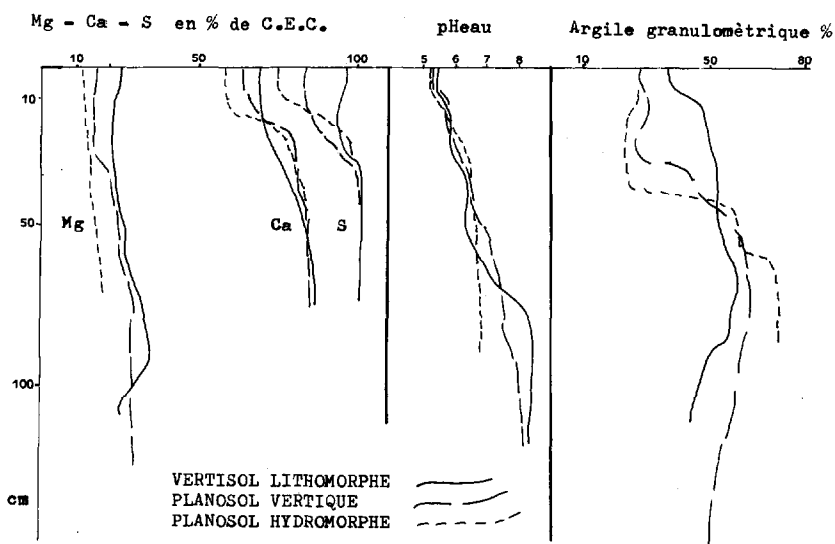


Fig. 8. — Les conditions du lessivage

à 30 - 40 cm de profondeur au niveau des horizons (B) et Bt. Le fort taux de saturation des horizons A₂ et le pH relativement acide laissent supposer que la C.E.C. est sous-estimée par rapport à la réalité.

Le calcium et le magnésium suivent la même évolution. Le pourcentage de calcium sur la C.E.C. diminue de 78 à 67 % du vertisol lithomorphe du planosol hydromorphe ; par contre en profondeur, dans les horizons (B) et B₂ le taux de calcium est identique (80 %). Le pourcentage de magnésium varie de 25 à 13 % du vertisol lithomorphe au planosol hydromorphe dans les horizons de surface, et cette diminution semble se continuer dans les horizons profonds, mais de façon moins marquée (30 à 20 %).

La désaturation en ions bivalents flocculants semble avoir lieu parallèlement à une diminution du taux d'argile et peut donc être considérée comme propice au lessivage.

On peut tenter de pousser plus loin l'analyse en distinguant le rôle du magnésium par rapport à celui du calcium.

Le rapport Ca/Mg est faible, de l'ordre de 3, compris entre 1,4 et 5,5 (Fig. 8). Il traduit donc les fortes teneurs en magnésium fixé sur le complexe. Ce « déséquilibre » au sein du complexe pose le problème du rôle du magnésium dans les phénomènes de lessivage. Ce rôle est controversé, pour certains auteurs une trop forte proportion de magnésium peut avoir un effet voisin de celui du sodium ; le magnésium est un destabilisant de structure (C.P.C.S., 1967 — ABDER RAHMAN,

1977) ; d'autres auteurs précisent que des effets notables sur la structure peuvent apparaître dès que le rapport Ca/Mg est inférieur à 12. (SZABOLCS, in FAIVRE, 1977). Par contre d'autres auteurs attribuent au magnésium un rôle identique à celui du calcium (U.S. Salinity Laboratory Staff, KOUHES-TANI in PIAS, 1970).

L'étude des rapports Ca/Mg dans les différents horizons des profils montre que le magnésium présente une aptitude particulière à être lixivié plus rapidement que le calcium dans les horizons supérieurs des sols. Le rapport Ca/Mg dans les horizons du vertisol topomorphe est pratiquement constant du haut en bas du profil. Dans le vertisol lithomorphe, on assiste déjà à une certaine élimination du magnésium, dans la partie supérieure du profil.

Dans le planosol vertique le rapport Ca/Mg augmente dans les horizons A, par comparaison avec, d'une part les horizons (B) et d'autre part les horizons A du vertisol lithomorphe. Le planosol hydromorphe, quant à lui, présente dans tous les horizons des valeurs du rapport Ca/Mg supérieures à celles des autres profils, avec un maximum au niveau de l'horizon A_{2g}. A partir de ces observations, il est possible de dire que le magnésium est lixivié plus rapidement que le calcium dans les horizons A₂ des profils. DURAND et DUTIL (1971) précisent qu'en milieu saturé le calcium et le magnésium sont tous deux éliminés, mais que le magnésium est lixivié le plus vite.

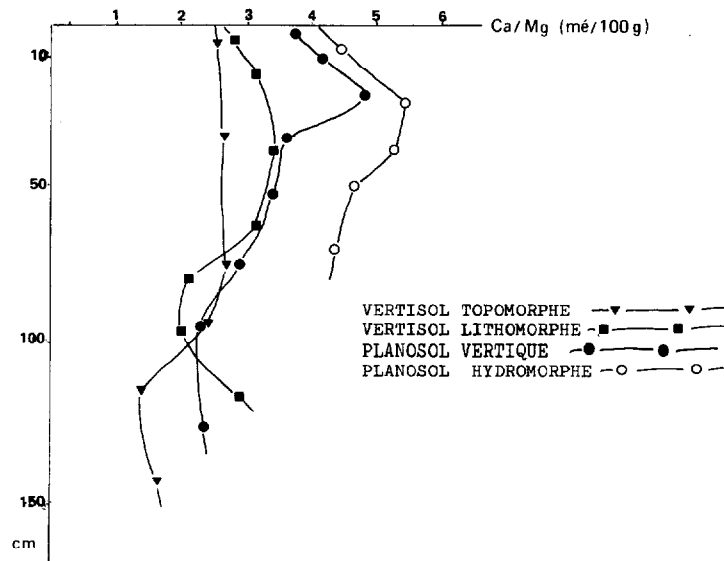


Fig. 9. — Variations du rapport Ca/Mg du complexe adsorbant

— Conclusions

Il semblerait que le pH faible, lié à une légère désaturation en calcium et magnésium, soit suffisant, dans les régions

à forte pluviométrie, pour favoriser le lessivage des argiles les plus fines (smectites). L'ion magnésium pourrait aussi montrer une action favorable dans ce sens.

La planosolisation

Les planosols vertiques ont été observés sur certaines pentes faibles, sous forme de langues grossièrement allongées le long de la pente.

L'étude des données climatiques a montré que des averses violentes (supérieures à 50 mm/jour) se produisent régulièrement, surtout au printemps et à l'automne. Les pluies importantes peuvent tomber sur des sols en voie d'assèchement dans les horizons supérieurs où des fentes de retrait peuvent s'ouvrir. La macroporosité de ces horizons est alors très forte. Par contre les horizons profonds sont encore humides ou frais et la macroporosité est faible. Les descriptions des profils ont été effectuées dans ces conditions de sécheresse des horizons superficiels et d'humidité des horizons profonds. La violence des averses peut entraîner des phénomènes de ruissellement le long de ces pentes faibles et l'écoulement de ces eaux, du fait d'une micro-topographie particulière, peut éventuellement se concentrer et se produire dans certaines zones.

La différence de porosité entre la surface et la profondeur est un facteur qui peut contraindre l'eau de drainage à circuler latéralement à l'intérieur des horizons supérieurs. L'eau de drainage hypodermique va accentuer la désaturation du milieu en ions flocculants (Ca, Mg). Les argiles les plus fines (smectites) deviennent alors sensibles à la dispersion et une partie peut être entraînée latéralement. Un horizon A₂ se forme par perte de matière.

L'étude microscopique des horizons B du planosol vertique n'a pas révélé beaucoup de revêtements argileux. Deux causes possibles peuvent être évoquées pour expliquer ce fait : d'une part le caractère dynamique de l'horizon intégrant les revêtements au fur et à mesure de leur formation, d'autre part les migrations latérales d'argile, les entraînant hors du profil du fait des possibilités de ruissellement hypodermique.

Un des facteurs pouvant favoriser la formation des planosols est donc le ruissellement hypodermique de l'eau dans les horizons superficiels à forte macroporosité, en discontinuité structurale avec les horizons inférieurs humides.

Mais cette explication devient insuffisante dans le cas du planosol hydromorphe qui se situe dans une micro-concavité du plateau ou de pentes faibles. Dans ces conditions le drainage externe est nul. Les phénomènes de lessivage se produisant ne peuvent être que verticaux. La description microscopique le montre dans la mesure où les revêtements argileux semblent plus nombreux dans les horizons B de ce profil. Mais ils sont pour la plupart intégrés dans la masse de l'horizon et déformés par les contraintes dues aux smectites. Les revêtements visibles reflètent mal l'intensité de lessivage subi par le sol.

Dans ce cas la planosolisation pourrait être liée d'avantage à l'assèchement du sol par évapotranspiration, créant ainsi une frange de sol proche de la surface où les variations d'humidité peuvent être grandes, suivant le régime des averses estivales, en discontinuité avec les horizons inférieurs.

La répétition de ces phénomènes (ruissellement hypodermique et mouvements ascendants de l'eau) aboutirait à la formation d'un planosol par actions cumulatives.

Si les conditions de milieu (pH, saturation du complexe, calcium et magnésium) et leurs variations peuvent dans une certaine mesure rendre compte de l'appauvrissement en argile des horizons supérieurs, il est beaucoup plus difficile de préciser les facteurs de planosolisation.

Dans l'état actuel des investigations plusieurs hypothèses pourraient expliquer cette planosolisation :

— Un changement climatique serait intervenu dans la dernière période du Quaternaire ; les précipitations auraient été plus abondantes et les températures plus fraîches, produisant la désaturation superficielle qui permet la dispersion des smectites et leur lessivage.

— La colonisation du pays par les Européens et l'introduction de l'élevage a modifié la prairie en l'appauvrissant ; d'une part la circulation des eaux de sub-surface est plus facile et d'autre part les horizons supérieurs du sol se sont appauvris par des exportations plus importantes, des restitutions minérales et organiques plus faibles et par l'action du piétinement des animaux.

BIBLIOGRAPHIE

- ABDER RAHMAN (W.A.), 1977. — The significance of magnesium in the classification of irrigation waters and its effect on the physical properties of clays and soils in arid and semi-arid regions. Ph. D. Univ. of Reading, 199 p.
- BLOKHUIS (W.A.), SLAGER (S.), VAN SCHAGEN (R.H.), 1970. — Plastic fabrics of two Sudan vertisols — *Geoderma*, 4 : 127-137.
- BOULET (R.), 1978. — Toposéquence des sols tropicaux en Haute-Volta. Equilibre et déséquilibre pedo-bio climatique — *Mém. ORSTOM*, n° 85.
- BRINKMAN (R.), 1977. — Surface water gley soils in Bangladesh genesis. *Geoderma*, 17 : 111-114.
- BRINKMAN (R.), 1979. — a soil — forming process in hydromorphic conditions. Centre of Agricultural Publishing and documentation. Wageningen.
- C.P.C.S., 1967. — Classification des sols — Document diffusé par le laboratoire de Géologie-Pédologie de l'ENSA de Grignon.
- DUCLoux (J.), 1978. — Contribution à l'étude des sols lessivés sous climat atlantique. Thèse doct. — Univ. POITIERS.
- DUDAL (R.), 1967. — Sols argileux fonceés des régions tropicales et subtropicales — Collections F.A.O. : *progrès et mise en valeur — Agriculture Cahier* n° 83, Rome.
- DURAND (J.H.), DUTIL (P.), 1971. — Evolution des sols en milieu calcaire-magnésique argileux. *Sci. du Sol*, 1 : 65-78.
- EIMBERCK, ROUX (M.), 1977. — Les sols lessivés glossiques à pseudogley de l'Argonne méridionale — Caractérisation micro-morphologique et minéralogique. *Sci. du Sol*, 2 : 81-94.
- FAIVRE (P.), 1977. — Sols à profil différencié planosolique à horizon Bt noir de Colombie. *Sci. du Sol*, 2 : 95-110.
- JAMAGNE (M.), 1973. — Contribution à l'étude des formations loessiques du Nord de la France — Thèse Fac. Sc. Agronomiques, Gembloux, Belgique.
- NETTLETON, FLACH, BRASHER, 1969. — Argillic horizons without clay skins. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 33, 1 : 121-125.
- NGUYEN KHA, 1973. — Recherche sur l'évolution des sols à texture argileuse en conditions tempérés et tropicales. Thèse docteur ès Sciences Université Nancy.
- PAQUET (H.), 1969. — Evolution géochimique des minéraux argileux dans les altérations et les sols de climats méditerranéens et tropicaux à saisons contrastées. Thèse docteur, Fac. des sciences — Strasbourg.
- PIAS (J.), 1970. — Les formations sédimentaires tertiaires et quaternaires de la cuvette tchadienne et les sols qui en dérivent. *Mém. ORSTOM*, n° 43.
- ROBERT (M.), 1975. — Principes de détermination qualitative des minéraux argileux à l'aide de R.X. *Ann. Agro.*, 26 (4) : 363-399.
- ROSSIGNOL (J.P.), 1981. — Etude de quelques sols développés sur basalte dans le Nord de l'Uruguay. Essai de caractérisation du lessivage en milieu vertique. Thèse Docteur Ingénieur, Université Rennes.
- ROSSIGNOL (J.P.), 1983. — Les vertisols du nord de l'Uruguay, *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, Vol. XX, n° 4 : 271-291.
- UNITED States department of Agriculture, 1975. — Soil taxonomy : a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Soil survey staff — Agriculture handbook n° 436.

ANNEXE N° 1

LE PLANOSOL VERTIQUE

(a) Situation

Ce profil est situé sur une pente faible qui descend de la partie plane du plateau. Quelques ondulations de faible amplitude se rencontrent en surface. Le sol a une épaisseur d'un mètre environ et repose sur un basalte massif faiblement altéré.

Sur cette pente se rencontrent aussi des vertisols lithomorphes.

La végétation est une prairie naturelle modifiée par l'utilisation pastorale : autour de ce profil on ne trouve que des

graminées : *Andropogon ternatus*, *Paspalum plicatum*, *Aristida uruguayensis*, *Piptochaetium stipoides*, et *monteviden-sis*, *Bothriochloa imperatoïdes*, *chlois bahiensis*, *Briza subaristata*, *Sporobolus indicus*, *Setaria geniculata*, *Stipa* sp.

(b) Description macromorphologique

A₁₁ = 0 — 6 cm — Gris très foncé (10 YR 3,5/1) sur les agrégats et noir dans les agrégats (10 YR 2,5/1) — Sec — quelques taches, peu étendues, brun foncé, dans les agrégats, arrondies, à limites peu nettes, peu contrastées — limon argileux — à matière organique directement et non directement décelable — Structure polyédrique subanguleuse fine et moyenne, peu nette, à sous-structure polyédrique subanguleuse très fine associée à une structure particulière — moins

de 2 % de concrétions ferro-manganésifères, friables, de diamètre inférieur à 1 mm. Volume des vides assez important entre les agrégats ; meuble ; agrégats à pores peu nombreux, très fins ; poreux — matériau à consistance rigide, fragile, peu plastique et non collant — nombreuses racines fines et moyennes entre les agrégats et pénétrant les agrégats — Transition nette et régulière.

A₁₂ = 6 — 17 cm = Gris très foncé (10 YR 3,5/1) — sec — quelques taches peu étendues, brun foncé, dans les agrégats — à limites peu nettes, peu contrastées — limon argileux fin — à matière organique non directement décelable — structure polyédrique subanguleuse moyenne et fine, nette — moins de 2 % de concrétions ferro-manganésifères, friables, de diamètre inférieur à 1 mm — Volume des vides faible entre les agrégats, meuble ; agrégats à pores peu nombreux fins et moyens, tubulaires et verticaux, poreux — Revêtements limoneux, minces, sur les faces verticales des agrégats, recouvrant 20 %, gris (2,5 Y 6/10) — Matériau à consistance rigide, non fragile, peu plastique, non collant — Racines fines et moyennes entre les agrégats et pénétrant les agrégats — Transition distincte et régulière.

A₂ = 17 — 29 cm — Gris grès foncé à gris (10 YR 4,5/1 et 10 YR 3/1) — sec — limon argileux — apparemment non organique — structure polyédrique subanguleuse moyenne et grossière, peu nette, à sous-structure polyédrique subanguleuse fine et moyenne, associée à une structure particulière — moins de 2 % de concrétions ferromanganésifères, friables, de diamètre inférieur à 1 mm — Volume des vides très faible entre agrégats ; meuble ; agrégats à pores nombreux fins et moyens, tubulaires, sans orientation dominante ; peu poreux — Revêtement limoneux minces, sur agrégats, recouvrant 40 %, gris (25 Y 6/10) — Matériau à consistance rigide, non fragile, peu plastique, non collant — Racines moyennes et fines, entre les agrégats et pénétrant les agrégats — Transition très nette et régulière.

B₂₁ = 29 — 43 cm — Noir (10 YR 2,5/0,5) — frais — Argile limoneuse — à matière organique non directement décelable — structure polyédrique subanguleuse grossière et moyenne, nette, à sous-structure polyédrique subanguleuse fine, à surstructure prismatique peu marquée — moins de 2 % de concrétions ferro-manganésifères, friables, de diamètre de 1 à 2 mm — Volume des vides très faible entre les agrégats ; cohérent ; fentes de retrait de 0,5 à 2 cm de large, distantes de 15 cm ; agrégats et pores peu nombreux, très fins, tubulaires, sans orientation dominante — Faces luisantes sur faces des agrégats ; revêtements organo-minéraux, minces sur agrégats, recouvrant 10 %, noir (10 YR 2,5/0,5) — matériau à consistance rigide, non friable, plastique, collant — Racines fines et moyennes entre les agrégats et pénétrant les agrégats — transition graduelle et régulière.

B₂₂ = 43 - 64 cm — Noir (10 YRY2/0,5) — frais — Argile — à matière organique non directement décelable — Structure polyédrique subanguleuse grossière et moyenne, nette, associée à une structure en plaquettes obliques — moins de 2 % de concrétions ferro-

manganésifères friables, de diamètre de 1 à 2 mm — Volume des vides très faible entre les agrégats ; cohérent ; agrégats à pores peu nombreux, fins, sans orientation dominante ; très peu poreux — Faces luisantes et faces de glissement sur agrégats grossiers — Matériau à consistance malléable, non friable, plastique et collant — Racines fines entre les agrégats et pénétrant les agrégats — transition graduelle et régulière.

B₂₃ = 64 à 84 cm — noir (10 YR 2/1) — frais — argile — à matière organique non directement décelable — structure polyédrique grossière et moyenne, nette, à sous-structure fine associée à une structure en plaquettes obliques — moins de 2 % de concrétions ferro-manganésifères, friable, de diamètre de 1 à 2 mm — Volume des vides très faible entre agrégats ; agrégats à pores peu nombreux, fins ; peu poreux — Face de glissement, obliques, grandes, nombreuses, matériau à consistance malléable, non friable, plastique, collant — Quelques racines fines entre les agrégats et pénétrant les agrégats — Transition graduelle et régulière.

B_{3Ca} = — 84 — 110 cm — Noir à gris très foncé (8,25 YR 2,5/1,5) — Frais — Argile — à matière organique non directement décelable — Structure polyédrique moyenne et grossière, nette, à sous-structure polyédrique fine, associée à une structure en plaquettes obliques — 2 à 15 % de concrétions ferro-manganésifères friables, de diamètre de 1 à 2 mm — Effervescence irrégulièrement répartie, 2 à 15 % d'éléments carbonatés en nodules (1 à 2 mm), en pédodes (2 à 5 mm) et diffus — Volume des vides très faible entre les agrégats ; cohérent ; agrégats à pores peu nombreux ; peu poreux — Faces de glissement nombreuses, obliques, se recoupant — Matériau à consistance malléable, non friable, très plastique, très collant — quelques racines fines entre les agrégats et pénétrant les agrégats — Transition distincte et régulière.

Cca = 110 — 125 à 145 cm — Brun foncé à brun rougeâtre foncé (6,25 YR 3,5/2,5) — frais Argile limoneuse — apparemment non organique — Structure polyédrique moyenne et fine, nette — 2 à 15 % de concrétions ferromanganésifères friables de diamètre de 1 à 2 mm — Vive effervescence généralisée, 15 à 30 % d'éléments carbonatés en nodules (2 à 5 mm de diamètre) en pédodes (5 à 15 mm de diamètre — 2 à 15 %) et diffus — Volume des vides très faible entre les agrégats ; cohérent ; agrégats à pores peu nombreux ; peu poreux — Revêtements argileux sur faces d'agrégats, recouvrant 10 %, minces, brun foncé (75 YR 3,5/2) ; revêtement organo-argileux sur face d'agrégats recouvrant moins de 2 %, minces, noirs à gris foncé (8,25 YR 2,5/1,5) — Matériau à consistance semi-rigide, plastique, collant, peu friable — pas de racines transition nette et irrégulière.

R = — 125 à 145 et plus — Basalte massif en blocs cubiques et parallélépipédiques recouverts par une argile limoneuse brun rougeâtre foncé — quelques nodules et pédodes de calcaire, durs et grossiers (5 à 15 mm de diamètre).

ANNEXE 1

Planosol vertique — Résultats analytiques en % de terre fine

Horizons	Prof. cm	% Terre fine	GRANULOMETRIE %					M.O. %	Cal-caire %	HUMIDITES % A DIFFERENTS pF						HUMIDITE EQUIVALENTE PAR CENTRIFUGATION %
			A	LF	LG	SF	SG			pF _{4,7}	pF _{4,2}	pF _{3,5}	pF ₃	pF _{2,5}	pF ₂	
A ₁₁	0-6	100	27,2	48,0	16,4	4,5	3,9	7,43		5,3	25,8	28,7	33,0	41,1	47,0	38,2
A ₁₂	6-17	97,2	29,6	46,7	15,2	4,7	3,8	5,71								34,9
A ₂	17-29	99,2	25,6	47,4	16,9	5,3	4,8	3,57		4,4	17,3	22,3	27,3	35,5	41,4	31,3
B ₂₁	29-43	98,3	44,0	33,4	12,8	5,2	4,6	2,99								43,1
B ₂₂	43-64	98,6	58,0	25,5	9,1	3,7	3,7	2,44		11,7	33,2	41,2	48,9	58,9	68,5	77,9
B ₂₃	64-84	98,0	60,7	22,7	10,4	3,0	3,2	1,54								77,0
B _{3ca}	84-110	98,0	55,2	26,2	10,4	2,6	4,0	0,65	1,7							63,5
Cca	110-145	97,3	50,1	28,6	12,1	3,1	2,8	0,18	3,3							57,4

Horizons	TEST DE STABILITE					TEST DE PERCOLATION				LIMITES D'ATTERBERG PLASTICITE - ADHESIVITE - LIQUIDITE			
	Agrégats stables eau %	Agrégats stables benzène	Agrégats stables alcool %	Is	log 10 Is	K ₁ 1 h	log 10 K ₁	log 10 K ₂ (2 h)	log 10 K ₃ (3 h)	L.P. %	A %	L.L. %	I.P. %
A ₁₁	83,7	80,8	83,0	0,031	- 0,51	93,3	2,97	2,78		43,6	57,9	55	11,4
A ₁₂													
A ₂	51,3	37,0	73,5	0,45	0,65	25,7	2,41	2,32	2,25	29,3	40,3	39,7	10,4
B ₂₁													
B ₂₂	26,9	23,5	53,8	1,05	1,02	5,8	1,77	1,63	1,55	43,5	74,3	77	33,5
B ₂₃													
B _{3ca}													
Cca													

Horizons	pH		M.O.			COMPLEXE ADSORBANT me/100 g					Fer		Mn
	eau	KCl	C %	N %	C/N	C.E.C.	Ca	Mg	K	Na	Fer % libre	Fer % total	Mn %
A ₁₁	5,5	4,9	4,32	3,33	12,9	26,3	16,6	4,39	0,46	0,15			
A ₁₂	5,8	4,8	3,32	2,49	13,3	26,6	17,6	4,26	0,48	0,15	0,88	1,87	0,19
A ₂	6,1	5,1	2,08	1,37	15,1	23,2	17,7	3,79	0,11	0,21	0,95	1,72	0,24
B ₂₁	6,6	5,5	1,74	1,07	16,2	31,7	25,6	7,10	0,20	0,40	0,84	2,21	0,44
B ₂₂	7,2	6,1	1,42	0,91	15,6	39,0	32,3	9,43	0,31	0,58	0,68	2,34	0,33
B ₂₃	7,7	6,7	0,90	0,66	13,6	39,0	32,9	11,2	0,42	0,66			
B _{3ca}	8,2	7,2	0,38	0,38	10,0	33,7	38,8	9,68	0,36	0,66			
Cca	8,3	7,3	0,11	0,24	4,5	29,3	41,5	8,43	0,35	0,58	0,81	2,51	0,97

ANNEXE N° 2

PLANOSOL HYDROMORPHE VERTIQUE

(a) Situation

Le profil est situé sur un plateau qui domine la région. Il a été ouvert au centre d'une petite dépression favorisant les excès d'eau en période pluvieuse. Autour de cette dépression les sols prédominants sont d'une part les vertisols lithomorphes (à microrelief gilgai) et d'autre part des brunizems vertiques.

Le sol repose à 85 cm sur un cailloutis de quartz et de basalte emballé dans une matrice argileuse.

(b) Description macromorphologique

A_{1g} = 0 — 14 cm — Noir à gris très foncé (10 YR 2,5/1) — frais — Taches peu étendues, brun grisâtre très foncé (10 YR 3/2) associées aux racines, à limites peu nettes, peu contrastées ; quelques autres taches gris foncé (5 YR 4/1), peu étendues, 1 mm, arrondies, nettes et contrastées — limon fin argileux — à matières organiques non directement décelables — Structure polyédrique subanguleuse moyenne, peu nette, associée à une structure à tendance massive — Volume des vides faible entre les agrégats, meuble, agrégats à pores peu nombreux ; horizon peu poreux — Matériau à consistance semi-rigide, non plastique, non collant, très friable — nombreuses racines fines et moyennes pénétrant les agrégats et entre les agrégats — Transition distincte et régulière.

A_{2g} = 14 — 36 cm = Gris à gris clair (10 YR 6/1) — sec — nombreuses taches étendues, brun grisâtre très foncé (10 YR 3/2) associées aux racines mortes, en traînées horizontales, à limites nettes contrastées — limon fin argileux — apparemment non organique — Structure massive, nette, à sous-structure particulière, associée à une structure lamellaire grossière — Volume des vides très faible entre agrégats, agrégats à pores peu nombreux ; horizon très peu poreux — Matériau à consistance rigide, très fragile, peu plastique, non collant — quelques racines fines dans la masse — transition nette et régulière.

B et A_g = 36 — 42 cm : Noir (10 YR 2/1) — sec — quelques

taches peu étendues, gris brunâtre clair (10 YR 6/2) arrondies, 1 à 2 cm, à limites nettes, contrastées, de texture plus limoneuse que les zones noires environnantes — limon argileux fin — Structure polyédrique moyenne, à surstructure de tendance prismatique fine — moins de 2 % de concrétions ferro-manganésifères, friables, de diamètre inférieur à 1 mm — volume des vides très faible entre agrégats, cohérent ; fentes de retrait de 1 cm de large, distantes de 10 à 15 cm ; agrégats à pores peu nombreux ; horizon très peu poreux — Revêtements organo-argileux, sur agrégats, recouvrant 2 %, minces — Matériau à consistance rigide, peu fragile, plastique et collant — quelques racines — Transition nette et régulière.

B_{21t} = 42 — 58 cm : Noir (10 YR 2/1) sec — sans taches — Argile limoneuse à matières organiques non directement décelables — Structure polyédrique moyenne et grossière, à sur-structure de tendance prismatique — 9 à 15 % de concrétions ferro-manganésifères, dures, de 1 à 2 mm de diamètre — Volume des vides très faible entre agrégats, cohérent ; fentes de retrait de 1 cm de large, distantes de 10 à 15 cm ; agrégats à pores peu nombreux ; horizon très peu poreux — Revêtements organo-argileux sur agrégats, minces, recouvrant 50 %, même couleur (10 YR 2/1) — Matériau à consistance rigide, non fragile, plastique ; collant — quelques racines Transition graduelle et régulière.

B_{22t} = 58 — 85 cm : Noir à gris très foncé (10 YR 2,5/1) — frais — sans taches — argile — à matières organiques non directement décelables — Structure polyédrique moyenne et grossière nette — moins de 2 % de concrétions ferro-manganésifères, dures et friables, de 1 à 2 mm de diamètre — Volume des vides très faible entre agrégats, cohérent, agrégats à pores peu nombreux ; horizon très peu poreux — Face de glissement peu nombreuses — faces de pression — matériau à consistance malléable, non friable, plastique, collant — pas de racines — transition nette et régulière.

IIB = 85 et plus = Noir à gris très foncé (10 YR 2,5/1) — frais — sans taches — Argile — à matières organiques non directement décelable — 70 %, approximativement, de cailloux de quartz et de basalte, de forme arrondie, faiblement altérés (basalte).

ANNEXE 2

Planosol hydromorphe — Résultats analytiques en % de terre fine

Horizons	Prof. cm	% Terre fine	GRANULOMETRIE %					M.O. %	Calcaire %	HUMIDITES % A DIFFERENTS pF						HUMIDITE EQUIVALENTE PAR CENTRIFUGATION %
			A	LF	LG	SF	SG			pF _{4,7}	pF _{4,2}	pF _{3,5}	pF ₃	pF _{2,5}	pF ₂	
A _{1g}	0-14	98,9	27,4	53,5	15,5	2,2	1,4	5,67		5,2	20,20	27,8	37,0	48,9	56,9	42,7
A _{2g}	14-36	100	22,4	59,0	15,7	1,9	1,0	1,78		3,8	13,8	21,8	33,8	43,8	47,4	43,1
BA _g	36-42	100	34,6	53,4	10,6	1,1	0,3	1,44		6,4	20,8	28,7	34,3	41,4	48,4	39,6
B _{21t}	42-58	100	57,4	33,7	6,8	1,1	1,0	1,34								64,3
B _{22t}	58-85	95,7	69,6	21,4	5,4	1,8	1,8	1,13		8,7	34,7	46,1	56,7	66,9	76,9	76,2

Horizons	TEST DE STABILITE					TEST DE PERCOLATION				LIMITES D'ATTERBERG PLASTICITE - ADHESIVITE - LIQUIDITE			
	Agrégats stables eau %	Agrégats stables benzène	Agrégats stables alcool %	Is	log 10 Is	K ₁ 1 h	log 10 K ₁	log 10 K ₂ (2 h)	log 10 K ₃ (3 h)	L.P. %	A %	L.L. %	I.P. %
A _{1g}	61,9	61,3	80,8	0,21	0,32	22,6	2,35	2,27	2,20	47,9	60,5	55	7,10
A _{2g}	34,4	13,5	59,1	0,94	0,97	4,77	1,68	1,57	1,52	37,3	40,3	39	1,70
BA _g	47,5	22,1	74,6	0,76	0,88	4,81	1,68	1,53	1,43				
B _{21t}													
B ₂₂	40,9	26,1	47,1	1,35	1,13	2,17	1,32	1,20	1,09	47,3	63,4	96	48,7

Horizons	pH		M.O.			COMPLEXE ADSORBANT me/100 g					Fer		Mn
	eau	KCl	C %	N %	C/N	C.E.C.	Ca	Mg	K	Na	Fer % libre	Fer % total	Mn % littel
A _{1g}	5,4	4,7	3,3	2,9	11,3	19,1	11	2,49	0,46	0,28	0,64	1,57	0,11
A _{2g}	6,3	5,2	1,04	1,05	9,9	13,6	10,7	1,97	0,21	0,3	0,44	1,18	0,05
BA _g	6,6	5,3	0,84	0,91	9,2	21,4	17,8	3,36	0,17	0,81	0,44	1,75	0,005
B _{21t}	6,7	5,3	0,78	0,92	8,4	29,8	24,6	5,28	0,29	1,24			
B ₂₂	6,8	5,6	0,66	0,91	7,2	37,0	31,8	7,27	0,61	1,58	0,59	3,49	0,09