Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol., vol. VIII, nº 1, 1970.

ÉTUDE PÉDOLOGIQUE DES BASSINS VERSANTS DES VOLTAS BLANCHE ET ROUGE (3e partie)*

Sols associés aux vertisols : sols bruns eutrophes et sols halomorphes

B. KALOGA***

CHAPITRE 1 - SOLS BRUNS EUTROPHES**

RÉSUMÉ

Deux entités de sols sont associées au même complexe d'altération que les vertisols, ce sont : les sols bruns eutrophes et les sols halomorphes.

Les sols bruns eutrophes. *Le type d'altération (2/1, principalement montmorillonitique), auquel est lié dans les conditions normales de genèse de la montmorillonite (milieu à drainage déficient), un type de matière organique (mull), apparaît être l'élément essentiel de la spécification des sols bruns eutrophes. La structure (type et taille), la position topographique, l'épaisseur du profil apparaissent comme des éléments de différenciation secondaires. Ce sont dans l'ensemble des sols en équilibre climacique comme les vertisols.*

Les sols halomorphes *Il s'agit d'une halomorphie d'origine pétrographique due essentiellement au maintien, dans le complexe absorbant des sols, du sodium provenant de l'altération des roches.*

Les sols halomorphes des bassins versants des Voltas Blanche et Rouge, qui pourraient apparaître à première vue comme des solonetz ou des solonetz solodisés, sont en fait assez peu évolués lorsqu'on les considère sous l'angle du processus classique de formation des solonetz et des solods.

---

* Les 1re et 2e parties ont paru respectivement dans le vol. IV, nº 1 et nº 3, 1966.

** Le chapitre 2 de cette 3e partie paraîtra dans le nº 2, 1970 du vol. VIII des Cahiers de Pédologie.

*** Maître de Recherches centre ORSTOM de Dakar.

Le processus d'halomorphie est limité à des caractéristiques morphologiques et analytiques qui ne sont pas toujours spécifiques à l'égard des vertisols, ni même spécifiques à l'égard de l'halomorphie en ce qui concerne les caractères morphologiques structuraux. Ces derniers sont pourtant le critère essentiel de la différenciation de ces sols.

Abstract

Two types of soil are associated with the same alteration complex as the Vertisols. These are : eutrophic brown soils, and halomorphic soils.

Eutrophic brown soils. *The type of alteration (2/1, chiefly montmorillonitic) which is usually associated in a normal environment for montmorillonite formation (bad drainage conditions) with one type of organic matter, Mull, appears to be the essential element for the specific genesis of eutrophic grown soils. The structure (type and size), situation, and depth of profile appear to be secondary elements of differentiation. These are all features of a soil group with a climax in equilibrium, as are Vertisols.*

Halomorphic soils. *Halomorphic features as concerned here are petrological in origin, and are due to the presence in the absorbing complex of sodium, released by rock weathering.*

The Halomorphic soils of the Basins of the Red and White Voltas have the initial aspect of solonetz or solodised solonetz soils, but are in fact little evolved when one considers the classic processes of solonetz or solod formation.

The halomorphic process has been limited to certain morphological and analytical characteristics which are not specifically vertisol in type, or even specifically limited to halomorphism in its morpho-structural aspects. It is these same aspects which provide the essential criteria for their identification.

Avant-Propos

On a signalé lors de l'étude des vertisols*, que deux entités de sols étaient associés au même type d'altération que ces derniers : ce sont les sols bruns eutrophes et les sols halomorphes. Le problème de la différenciation de ces différents types de sols a été en même temps largement évoqué.

Le premier chapitre de cette troisième partie sera consacré aux sols bruns eutrophes et le deuxième chapitre aux sols halomorphes.

* Cf. Deuxième partie : Les vertisols, Cahier ORSTOM, *Série Pédologie*, vol. IV, n° 3, 1966.

PLAN

INTRODUCTION

1. LES TYPES MORPHOLOGIQUES
   - 1.1. Les sols bruns eutrophes vertiques
   - 1.2. Les sols bruns eutrophes hydromorphes

2. CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES
   - 2.1. Les sols bruns eutrophes vertiques
     - 2.1.1. Conditions de formation et évolution
     - 2.1.2. Caractères morphologiques
     - 2.1.3. Caractères analytiques
   - 2.2. Les sols bruns eutrophes hydromorphes
     - 2.2.1. Conditions de formation
     - 2.2.2. Caractères morphologiques et analytiques

3. DISCUSSION DE LA CLASSIFICATION
   - 3.1. Comparaison avec les sols de type ferrugineux tropical
   - 3.2. Comparaison avec les vertisols
   - 3.3. Comparaison avec les sols « rouges » du Cameroun

4. CONCLUSION A L'ÉTUDE DES SOLS BRUNS EUTROPHES

INTRODUCTION

1. Définition et principes de la classification

Le groupe des sols bruns eutrophes fait partie de la classe des sols à Mull, sous-classe des sols à Mull des pays tropicaux et subtropicaux. Il est apparu dans la classification française en 1962. C'est donc un groupe très nouveau et par là même pas encore très bien précisé.

Dans la légende de la carte d'Afrique à 1/5 000 000, le Service Pédologique Interafricain (1961) en donnait la définition suivante : « sols minéraux à profils ABC ou ABD, à horizon A1 souvent riche en matières organiques, parfois saturé pour plus de 50 % de sa capacité d'échange, à horizon B structural ou textural ; semblent limités à des cendrées volcaniques, à des dépôts alluvionnaires riches en matériaux alté-

rables et à des roches cristallines basiques. Leurs matériaux sont caractérisés par une réserve minérale souvent grande, une fraction argileuse constituée en majeure partie de minéraux du type 2/1 (surtout illites et micas hydratés) ou d'allophane ; la capacité d'échange du complexe minéral est moyenne à élevée et la saturation est supérieure à 50 % dans les horizons B et C, sauf dans le cas de sols riches en allophanes ».

Comme le signale MAIGNIEN (1963), cette définition est très large. Les éléments de spécification certaine qui y apparaissent sont surtout la relative richesse de ces sols et la composition de la fraction argileuse.

MAIGNIEN (1963) donne un ensemble de caractéristiques plus précises, mais aussi très limitatives : « sols automorphes se développant sous des climats tropicaux humides et subhumides et qui se caractérisent par la faible épaisseur de leur profil, une faible individualisation de leurs horizons, une couleur brun foncé, une saturation en bases élevée, une bonne teneur en matière organique et une structure de surface excellente ; dans tous les cas, ils sont en position de bon drainage interne et externe ».

Cette définition est restrictive à un échelon trop élevé de la classification et ne peut être limitative qu'à l'égard d'une conception modale. Mais, le concept central du sol brun eutrophe, dans l'esprit d'une classification génétique, serait plutôt le sol brun eutrophe vertique (cf Relations vertisols - sols bruns eutrophes dans la 2e partie de cette étude consacrée aux vertisols), du moins en ce qui concerne les sols des glacis soudaniens d'Afrique Occidentale.

La conception modale définit les sols bruns eutrophes comme des sols automorphes (c'est-à-dire développés en position de bon drainage externe et interne), à structure de surface excellente (MAIGNIEN, 1963), grumeleuse à nuciforme en A (AUBERT, 1965), à structure petite à moyenne en profondeur « structure cubique à polyédrique moyenne en (B) » (AUBERT, 1965). Mais, ils ont été définis dans cette étude d'abord et essentiellement par le type d'altération déterminant le type d'humus, le caractère distinctif d'ordre structural étant l'absence de remaniements internes accentués (et des manifestations morphologiques de ces derniers), et non le type et la taille de la structure. Ainsi, au point de vue minéralogique, les sols de type ferrugineux tropical soumis à l'analyse, accusent 100 % de kaolinite, tandis que les vertisols accusent dans les horizons B et C 60 à 100 % de montmorillonite. Les sols bruns eutrophes se situent ici en gros entre ces deux pôles. Ce caractère a été déjà signalé par PAQUET, MAIGNIEN, et MILLOT (1961).

2. Classification

Les caractéristiques structurales trop restrictives dans la conception modale n'ont pas permis de distinguer un sous-groupe modal. D'autre part, dans la définition des Vertisols (AUBERT, 1963), l'accent est mis surtout sur la présence d'une structure prismatique ou polyédrique large. Aussi la grosse majorité des sols bruns eutrophes faisant l'objet de cette étude ont-ils été rangés dans un sous-groupe vertique qui désigne ici des sols à structure élargie par rapport à la conception modale. Ce sont des sols à mauvais drainage dû à la présence de quantités notables de minéraux gonflants (principalement du groupe montmorillonite).

Mais ces minéraux gonflants sont :

— soit en quantités insuffisantes pour provoquer les importants remaniements internes propres aux vertisols.

— soit en quantités égales à celles des vertisols, mais dans des profils assez particuliers : peu profonds et calcaires, ou peu profonds et en position de pente.

Cette hydromorphie d'origine pétrographique, qui peut être renforcée par une hydromorphie d'origine topographique se traduit essentiellement par :

— une structure souvent du type prismatique comme dans les vertisols, ou du type polyédrique à tendance prismatique ou cubique avec des revêtements argileux.

— une ségrégation manganifère[1] sous forme de concrétions noires, mais pas de ségrégation ferrugineuse sauf parfois à la base du profil.

La rareté d'une ségrégation ferrugineuse nette dans les sols bruns eutrophes, malgré un mauvais drainage (interne et parfois externe) manifeste, et malgré des quantités de fer libre (méthode d'Hoore) et de fer total élevées (bien plus élevées que dans les sols de type ferrugineux tropical), est à relier au fait que les sols bruns eutrophes, contiennent des quantités notables de minéraux 2/1 (montmorillonite principalement) intégrant le fer dans leur réseau. Cette possibilité d'intégration du fer dans le réseau des argiles et qui le rend moins ou non disponible pour une remise en mouvement dans les conditions normales d'évolution du sol, doit être considérée comme un caractère distinctif important par rapport aux sols à sexquioxydes. Ainsi, nous estimons que lorsqu'un sol brun eutrophe présente des phénomènes de ségrégation ferrugineuse, il y a superposition de ce processus au processus d'évolution normal et ce sol est alors classé dans un sous-groupe hydromorphe.

1. LES TYPES MORPHOLOGIQUES

1.1. LES SOLS BRUNS EUTROPHES VERTIQUES

Il a déjà été signalé que les sols bruns eutrophes sont définis dans cette étude d'abord, et essentiellement par le type d'altération auquel est lié le type d'humus, le caractère distinctif d'ordre structural étant l'absence de remaniements internes accentués, et non le type et la taille de la structure.

On voit que les caractères morphologiques pourront être et sont en fait très divers. Les types morphologiques sont très variés quant au développement de leurs profils, à leurs structures, à leurs situations topographiques et à la complexité des matériaux constitutifs. Ces derniers sont des matériaux argileux d'apport ou d'altération en place, dérivés de granito-gneiss à amphiboles ou le plus souvent de schistes et de roches basiques diverses (schistes amphibolitiques, orthoamphiboles...).

Les matériaux d'apport reposent souvent sur des niveaux grossiers (graviers de schistes, gravillons ferrugineux, cailloux et pierres de quartz) plus ou moins épais.

Les sols seront différenciés d'après :

a. *la structure*, qui est considérée, si on s'en réfère à la conception modale de ces sols comme l'élément fondamental de leur morphologie et de leur différenciation.

b. *le degré de différenciation du profil.*

---

[1] A propos des concrétions manganifères, il faut signaler qu'à défaut pour l'instant d'analyses précises, leur détermination est qualitative et morphologique. Un essai de détermination qualitative sur les concrétions noires ou noir-bleuté des vertisols a montré qu'elles contiennent du manganèse. Des déterminations précises sur des concrétions noires en milieu ferrugineux tropical hydromorphe montrent que la couleur noire est effectivement liée à la présence de manganèse, bien qu'en quantités inférieures à celles du fer (SALL, 1967). Dans le cas de ces sols, la couleur du manganèse masque celle du fer. Mais dans les vertisols (et les sols bruns eutrophes), le fer est en fait non disponible puisque intégré dans le réseau des argiles (TRAUTH, PAQUET, LUCAS, et MILLOT, 1967, soulignent la « disparition apparente du fer dans les basses plaines vertisoliques »). Il est donc assez logique de penser que les concrétions noires de ces sols sont essentiellement manganifères.

C'est ainsi que seront distingués successivement :

1.1.1. Les sols à structure polyédrique sur l'ensemble du profil.
1.1.2. Les sols à structure grossière ou large en surface (type prismatique), moyenne à petite et du type polyédrique (ou en tout cas relativement plus fine) en profondeur.
1.1.3. Les sols à structure grossière à large (type prismatique) sur l'ensemble du profil.
1.1.4. Les sols à structure transitionnelle vers les vertisols.

1.1.1. Les sols à structure polyédrique sur l'ensemble du profil

Selon le degré de différenciation[1] du profil, on distingue :

1.1.1.1. Les sols a profil sans différenciation

Les sols à profil sans différenciation texturale ou de couleur, du type A (C) à horizon A unique : horizon A d'épaisseur variable (15 à plus de 50 cm), de couleur brun foncé à brun rouge foncé, brun gris ou brun, à texture argileuse, à structure le plus souvent polyédrique grossière ou à la fois polyédrique grossière, moyenne et même petite ; parfois la structure première s'élargit et devient prismatique grossière, mais avec une sous-structure polyédrique grossière et moyenne ; parfois, la structure polyédrique a une tendance prismatique. Cet horizon A unique repose sur le granite ou le schiste altéré, ou sur un horizon essentiellement constitué soit de gravillons ferrugineux, soit de graviers de schiste. Lorsqu'il est constitué de graviers de schiste, cet horizon contient une terre fine brune parfois plus abondante par poches et à structure polyédrique moyenne à faces luisantes. Il passe en profondeur au schiste en place altéré.

Exemple de profil bien développé : le VL 24

Situation : Sur la route de Ouagadougou à Koupèla, devant le village de Wayen, au Sud de la route.

Végétation : Savane parc anthropique à *Butyrospermum parkii*, avec des repousses de *Dichrostachys glomerata* et *Ziziphus sp.* Champ de mil.

Description :

0-57 cm : Brun foncé 7,5 YR-4/4 paraissant plus rougeâtre vers le haut ; humifère ; texture nettement argileuse ; structure polyédrique grossière bien développée donnant à l'horizon un aspect brisé; cohésion des agrégats forte ; porosité tubulaire moyenne.

57-90 cm : Couleur d'ensemble rougeâtre avec des taches jaunes ; essentiellement gravillonnaire avec des cailloux de quartz ; présence de nombreuses concrétions irrégulières très durcies en voie de cimentation ; horizon moyennement durci d'où les concrétions se libèrent en se cassant au piochon.

90-110 cm : Même couleur et même texture que précédemment, mais évolué en une carapace à cuirasse ferrugineuse moyennement indurée.

C'est un sol brun eutrophe bien typé reposant sur des matériaux grossiers évolués en carapace ferrugineuse sous l'action de l'hydromorphie. La couleur, brun foncé, non corrélative de fortes quantités de matières organique (1,7 % à 1 %), la structure polyédrique grossière bien développée, la cohésion des agrégats forte sont typiquement des caractéristiques des sols bruns eutrophes vertiques.

La matière organique est très bien répartie de 0 à 57 cm (1,7 % de 0 à 30 cm et 1 % de 40 à 57 cm) et même ensuite dans le matériau gravillonnaire (0,9 % de 60 à 80 cm). Le C/N relativement élevé en surface (15,5 de 0 à 30 cm) marque probablement une tendance hydromorphe ou l'action des résidus de récolte ; il s'abaisse à 12 en profondeur.

[1] Dans la suite du texte, le terme différenciation concernera une différenciation texturale ou de couleur.

Le rapport fer libre sur fer total (de l'ordre de 80 %), les quantités de fer total (5 à 6 %) et de fer libre (3,8 à 5,1 %), le rapport fer libre sur argile (12 à 13 %) sont élevés à très élevés et ne se traduisent pas par une ségrégation ferrugineuse.

Le complexe absorbant est saturé ou proche de la saturation (V de l'ordre de 85 à 95 %) malgré des pH acides (5,9). Le calcium domine sur le magnésium (rapport Ca/Mg de l'ordre de 2).

La capacité d'échange[1] de la fraction argileuse est assez élevée (43 à 49 mé pour 100 g) et corrélative d'une bonne proportion d'argiles 2/1 (50 %), constituées ici d'un ensemble illite-feuillets gonflants (édifices micacés gonflants.)

Au point de vue caractéristiques analytiques structurales, le test de percolation donne des valeurs moyennes (1,6 à 1,8 cm/h) tandis que l'indice d'instabilité structurale est assez élevé (2 à 2,7).

1.1.1.2. LES SOLS A PROFILS A - (B) - C OU A - BC - C

a. L'horizon A, d'une épaisseur de 25 à 55 cm environ, peut former un horizon unique (il est alors moins épais et de l'ordre de 25 cm), mais il est le plus souvent différencié en deux horizons, A11 et A12, parfois à différenciation progressive, parfois bien différenciés l'un par rapport à l'autre par la couleur.

L'horizon A11 a généralement une épaisseur de l'ordre de 20 cm, parfois moins ; il est brun gris à brun gris foncé, argileux ou argilo-limoneux, à structure polyédrique moyenne, ou moyenne et petite, avec une surstructure prismatique grossière à large dans les types non ou peu caillouteux, polyédrique petite parfois à tendance grumeleuse dans les types très caillouteux, nuciforme et finement grenue dans le type calcaire.

L'horizon A12 a une épaisseur de l'ordre de 20 à 35 cm, il est brun, brun foncé ou brun olive, argileux, à structure polyédrique grossière à tendance prismatique ou prismatique petite à tendance polyédrique dans les types non caillouteux ni graveleux, polyédrique moyenne à fine dans les types caillouteux ou graveleux, polyédrique grossière et moyenne dans le type calcaire.

Lorsqu'il s'agit d'un horizon A unique, il a les caractéristiques du A11.

b. L'horizon (B) ou *BC* a une épaisseur très variable (16 à 45 cm), il est brun à brun-jaune, pour les sols dérivés de schistes, brun, olive, olive pâle pour les sols dérivés de granites ou de gneiss, à structure polyédrique grossière à tendance prismatique dans les types non caillouteux (horizon (B)), plus fine dans les horizons BC caillouteux et pierreux (cailloux et pierres de schistes plus ou moins altérés): polyédrique moyenne ou polyédrique grossière à sous-structure polyédrique petite.

c. L'horizon C est constitué par des schistes sériciteux, chloriteux, ou amphibolitiques, des granites ou des gneiss à amphiboles...

Le profil comprend généralement A11 - A12 - (B) ou BC - C, il peut se réduire à un horizon A unique reposant directement sur l'horizon BC.

Le type calcaire, ainsi que les types caillouteux et pierreux, réalisent le passage aux sols bruns eutrophes modaux.

1.1.2. **Les sols à structure grossière ou large en surface** (type prismatique, cubique, ou peu développée), **moyenne à petite et du type polyédrique** (ou en tout cas relativement plus fine) **en profondeur.**

C'est le type le plus fréquent de sols bruns eutrophes vertiques, et il semble que ce ne soit pas là un cas particulier propre aux bassins versants des Voltas blanche et rouge. En effet, c'est aussi le type de loin le plus fréquent dans le degré carré de Dalafi au Sénégal oriental (KALOGA, 1966).

[1] Capacité d'échange déterminée par la méthode au chlorure de calcium.

Le profil est du type AC, A - (B) - C ou A - BC - C.

a. L'horizon A est le plus souvent différencié en deux horizons A11 et A12 par la structure seulement, ou par la structure et la couleur (A12 alors moins foncé et moins gris que A11). Parfois, cependant, il constitue un horizon unique bien développé à très bien développé (17 à 40 cm d'épaisseur) qui a les caractéristiques du A11 ci-dessous et qui est bien tranché sur l'horizon (B).

*a.*1. L'horizon A11 : 10 à 20 cm d'épaisseur, brun à brun gris foncé ou gris brun foncé, parfois brun-rouge à brun rouge foncé, argileux ou argilo-limoneux ; structure le plus souvent prismatique ou prismatique à cubique moyenne, grossière ou large, parfois petite, ou peu développée, à tendance polyédrique.

*a.*2. L'horizon A12 : 15 à 40 cm d'épaisseur, brun à brun gris, parfois brun-rouge à brun rouge foncé, argileux ; structure le plus souvent polyédrique moyenne et petite, assez souvent polyédrique moyenne et grossière, parfois polyédrique moyenne ou grossière, plus rarement prismatique moyenne mais à sous-structure polyédrique grossière ; ces structures polyédriques marquent assez souvent une tendance prismatique et parfois une surstructure prismatique.

b. L'horizon (B) : 20 à 50 cm d'épaisseur, plus rarement 80 à 90 cm ; soit brun et alors peu tranché par rapport au A12, soit brun-jaune et alors bien tranché par rapport au A12 ou au A unique ; texture argileuse ; structure le plus souvent polyédrique moyenne et (ou) petite, parfois polyédrique grossière ou prismatique moyenne mais à sous-structure polyédrique grossière.

Lorsque son épaisseur atteint 80 à 90 cm, il est différencié en trois ou quatre sous-horizons à structures identiques mais s'éclaircissant en profondeur avec apparition à la base du profil d'un début de ségrégation ferrugineuse, ou beaucoup plus rarement d'une ségrégation ferrugineuse intense sous forme de taches dès 50 cm (sols bruns eutrophes à pseudogley de profondeur).

c. L'horizon BC : environ 70 cm d'épaisseur, formé le plus souvent dans une altération de schistes ; c'est un horizon hétérogène constitué tantôt par un matériau argileux, brun-jaune, à structure polyédrique moyenne à petite ou prismatique petite à tendance polyédrique, tantôt par les schistes altérés en place (pendage visible) ou remaniés (graviers de schiste) ; horizon parfois intensément calcaire, bourré de granules, nodules, et amas calcaires.

d. L'horizon C : lorsqu'on peut l'atteindre, c'est le plus souvent un schiste sériciteux, chloriteux ou amphibolitique, plus rarement un granite ou un gneiss à amphiboles.

e. Les horizons grossiers

Les matériaux constitutifs de ces sols étant plus ou moins fortement remaniés, on observe la présence d'horizons grossiers de natures diverses :

— gravillons ferrugineux souvent recimentés en une carapace ferrugineuse lorsqu'ils constituent la base du profil, parfois à néoconcrétionnement essentiellement du type manganifère, parfois sans évolution notable.

— cailloux de quartz avec des gravillons ferrugineux et avec un néoconcrétionnement du type manganifère.

— pavés et cailloux de quartz.

— cailloux de quartz.

— graviers de schistes.

— graviers de schistes et gravillons ferrugineux avec concrétionnement manganifère intense.

Ces horizons grossiers peuvent être eux-mêmes polyphasés d'après la nature et le calibrage des éléments grossiers.

Exemples :

— niveau constitué essentiellement de cailloux de quartz de toutes tailles avec de petits gravillons ferrugineux reposant sur un niveau essentiellement gravillonnaire avec de petits cailloux de quartz.

— niveau constitué de petits gravillons ferrugineux, de graviers de schistes et de petits cailloux de quartz reposant sur un niveau constitué de gros cailloux de quartz qui repose lui-même sur un niveau identique au premier.

Ces niveaux grossiers peuvent constituer la base des profils et reposer sur le schiste altéré ou sur une cuirasse ferrugineuse ancienne ou subactuelle, ils sont alors sous-jacents à l'horizon A12 dans les profils peu développés, ou à l'horizon (B) dans les profils mieux développés du type A11 - A12 - (B). Ils peuvent s'intercaler entre le A12 et le (B) ou le BC ; ils sont alors généralement moins épais (15 à 30 cm environ), mais peuvent atteindre parfois 1 m.

Le profil le plus fréquent est du type A11 - A12 - horizon grossier - cuirasse ou schiste. Mais on trouve assez souvent les types A11 - A12 - horizon grossier (B) ou BC - C, A11 - A12 - (B) - horizon grossier - C, ou A - (B) - horizon grossier - C.

Plus rarement, le profil ne comporte pas d'horizon grossier et est du type : A - (B) - C ou A11 - A12 - (B) - C avec horizon B dépassant 80 cm et différencié en trois horizons.

Exemple de profil type : VS 60

Situation : Sur la piste de Savana à Ziga puis Moaken, à 13,6 km de Savana. Sur un plateau brunâtre à gros cailloux de quartz. Colline de schiste à droite.

Végétation : Savane à *Acacia seyal*

Description :

0-14 cm : Brun foncé (5 YR-3/4) ; humifère ; texture argileuse ; structure assez peu développée de 0 à 5 cm, devenant prismatique grossière moyennement développée de 5 à 14 cm ; cohésion forte au séchage ; la couche 0-5 cm semble posée sur la suivante, mais elle est humide alors que l'autre est sèche.

14-35 cm : Brun foncé (5 YR-3/4) ; humifère ; texture argileuse ; structure polyédrique moyenne et petite à tendance prismatique bien développée ; parfois plus grossière : prismatique petite à tendance polyédrique se réduisant facilement en petits polyèdres ; cohésion d'ensemble faible.

35-110 cm : Lit de gros cailloux et pavés de quartz, à emplacement patiné dans une terre fine argileuse, avec quelques concrétions manganifères noires.

Le profil de sol brun eutrophe, limité aux horizons A (0-14 cm et 14-35 cm), est développé dans un matériau argileux d'apport reposant sur un matériau grossier d'apport lui aussi.

La matière organique en assez bonnes quantités (2,4 % en A11 et 1,4 % en A12) est du type relativement bien décomposé si on considère qu'il s'agit d'un sol non cultivé (C/N = 14 en A11 et 8 en A12). Les matières humiques totales sont bien réparties dans les horizons A (0,36 % en A11, et 0,39 % en A12, exprimées en carbone).

Le pH faiblement acide (6,2) ne marque aucune variation entre A11 et A12. Le complexe absorbant apparaît saturé en A11 et proche de la saturation en A12 (V = 97 %). Le calcium est plus représenté que le magnésium (rapport Ca/Mg de l'ordre de 2). La capacité d'échange calculée des argiles donne de bonnes valeurs (47 mé pour 100 g en A11 et 64 mé pour 100 g en A12) qui supposent une bonne représentativité des argiles 2/1 du groupe montmorillonite ou interstratifiées. Et de fait, l'analyse minéralogique révèle en A12, 40 % de montmorillonite, 10 % d'illite et 50 % de kaolinite.

Malgré les quantités de fer très élevées (13 % de fer libre et 16 % de fer total en A11, 11 % de fer libre et 15 % de fer total en A12), et les rapports fer libre sur argile anormalement élevés (30 % en A11 et 23 % en A12), on n'observe pas de ségrégation ferrugineuse.

La stabilité de la structure est moyenne : indice d'instabilité structurale égale à 1,6 en A11 et 12, en A12, coefficient de percolation égal à 1,8 cm/h en A11 et 2,3 cm/h en A12.

A 1,9 km du profil précédent en allant sur Moaken, on retrouve sous des horizons A identiques et un lit de cailloux de quartz réduit à 30 cm, le matériau originel qui est une altération de schiste où les nombreuses plages en voie d'altération alternent avec des plages argileuses brunes à structure prismatique petite à tendance polyédrique à revêtements argileux. On retrouve dans cette altération le même taux de montmorillonite que dans l'horizon A12 du profil VS 60.

1.1.3. Les sols à structure grossière ou large (type prismatique) sur l'ensemble du profil

Les profils bien développés (généralement de l'ordre de 1,50 m à 1,60 m : épaisseurs non limitatives) sont du type A (B) C, soit à l'horizon A très développé (50 à 130 cm d'épaisseur) avec en conséquence une différenciation faible sur une grande profondeur, soit à l'horizon A unique beaucoup moins développé (de l'ordre de 25 cm) et bien tranché sur les horizons (B).

Dans le premier cas, l'horizon A est souvent différencié en deux ou trois sous-horizons par une couleur moins grise ou moins foncée en profondeur, ou (et) par de petites différences d'ordre structural ; il peut cependant être unique, il est alors moins épais et de l'ordre de 50 cm.

L'horizon (B) peut être unique ou différencié en deux horizons par une couleur plus claire, une structure moins développée, la présence de nombreuses concrétions noires manganifères et parfois une richesse en éléments grossiers (texture argilo-gravillonnaire) dans l'horizon $(B)_2$.

La structure est prismatique petite ou (et) prismatique moyenne à large sur l'ensemble du profil. Son degré de développement est variable : assez bon à médiocre dans le dernier horizon, très bon à moyen dans le reste du profil, les structures prismatiques moyennes à larges étant toujours, au mieux, assez bien développées.

Parfois, on voit apparaître le long des fentes de retrait, dans les types à structure prismatique large, une structure plus fine : polyédrique grossière ou prismatique à polyédrique de la taille d'un polyèdre grossier.

Les horizons B peuvent reposer sur un niveau grossier (gravillons ferrugineux et cailloux de quartz).

Ces sols sont souvent développés sur un matériau argileux plus ou moins alluvial dérivé des schistes birrimiens.

Exemple de profil : V 78

Situation : Sur la piste de Korsimoro à Imiyougou, en passant par la Volta Blanche, à 5,8 km de celle-ci.
Dans une zone plane basse (légère dépression).

Végétation : Savane à *Butyrospermum Parkii*, et à nombreuses repousses de *Bauhinia sp.*, *Ziziphus sp.*, quelques *Faidherbia albida* et *Anogeissus leiocarpus*. Quelques fines fentes de dessiccation à la surface du sol.

Description :

0-10 cm : Brun gris clair à aspect un peu ségrégatif paraissant faiblement humifère, horizon cultivé ; texture argilo-limoneuse à limono-argileuse ; structure prismatique grossière bien développée par de fines fentes de dessiccation verticales ; cohésion forte ; bonne porosité essentiellement tubulaire.

10-34 cm : Brun-gris (7,5 YR-4/4), humifère ; texture argilo-limoneuse ; structure prismatique petite à moyenne à tendance polyédrique très grossière, très bien développée à bien développée, aspect brisé par endroits, porosité d'agrégats de saison sèche bien développée.

34-101 cm : Brun (7,5 YR-5/4), encore humifère ; texture argileuse ; structure identique à celle de l'horizon précédent ; bonne porosité d'agrégats de saison sèche.

101-130 cm : Brun (7,5 YR-5/6), peu différent du précédent ; texture argileuse ; structure prismatique petite à tendance polyédrique grossière bien développée.

130-162 cm : Brun jaune à plages plus jaune, texture argileuse, structure prismatique petite à moyenne à tendance polyédrique grossière assez bien à moyennement développée ; structure moins bien définie et moins bien développée.

a Interprétation morphologique

0-10 cm : Horizon cultivé et remanié probablement apport récent.
10-34 cm : Horizon A_{11}
34-101 cm : Horizon A_{12}
101-130 cm : Horizon A_{13}
130-162 cm : Horizon B.

Le profil est ici de type ABC (C non atteint), avec un très fort développement des horizons A passant progressivement à l'horizon B. Il est donc à différenciation très progressive sur une grande profondeur.

A noter l'absence, jusqu'à 130 cm, de ségrégation ferrugineuse. Celle-ci commence seulement à la base du profil sous forme de plages plus jaunes.

Malgré la position topographique, l'hydromorphie ne paraît pas très intense dans ce sol.

b Caractéristiques analytiques

La matière organique est bien répartie jusqu'à une très grande profondeur (130 cm environ), elle a une tendance hydromorphe se traduisant par un C/N un peu élevé : 14,8 dans l'horizon A11 et 13,3 dans l'horizon A12 (43-80 cm), mais elle reste assez bien décomposée surtout si on admet qu'il s'agit peut-être d'un horizon A11 enterré et non touché par la culture.

Le rapport fer libre sur fer total est très élevé (70-80 %) ; les quantités de fer sont fortes (de l'ordre de 6 %) et le rapport fer libre sur argile est élevé (14-15 %) ; malgré cela et la position de mauvais drainage, il n'y a pas de ségrégation ferrugineuse jusqu'à grande profondeur.

Le pH ne marque aucune variation dans le profil. Le complexe absorbant faiblement acide (pH 6,0), apparaît cependant comme saturé par du calcium principalement, et par du magnésium (V supérieur à 90 %). La richesse en bases, de l'ordre de 17 mé pour 100 g de terre, est bonne.

La capacité d'échange de la fraction argileuse, supérieure à 40 mé pour 100 g (capacité d'échange maxima des illites) suppose la présence d'argiles montmorillonitiques. L'analyse minéralogique indique à côté d'une kaolinite dominante (60 %) des proportions notables d'illites (20 %) et de montmorillonite (20 %), sans évolution le long du profil, si ce n'est une faible augmentation de la kaolinite aux dépens des illites dans le dernier horizon. Cette augmentation de la kaolinite n'est pas due à une évolution pédologique qui aurait plutôt augmenté la proportion des argiles du type 2/1 en profondeur, mais à une variation dans le matériau originel.

On voit donc qu'il n'y a pas d'évolution de la fraction argileuse le long du profil, qui semble par conséquent en équilibre climacique.

Les caractéristiques structurales : test de perméabilité et stabilité structurale sont franchement mauvaises.

1.1.4. Les sols à structure transitionnelle

Le profil, du type A (B) C, est caractérisé par une apparition en profondeur de la structure prismatique petite à moyenne aplatie, tendant parfois à la plaquette, à bases horizontales non patinées, non luisantes et non striées.

Les autres caractéristiques morphologiques, les caractéristiques minéralogiques (proportion des minéraux 2/1), et analytiques, sont les mêmes que ceux des sols précédents.

Le début de l'apparition des faces de glissement obliques patinées marque le passage aux vertisols de transition : la proportion des minéraux 2/1 tous gonflants atteint alors 50 % (40 % de montmorillonite et 10 % d'édifices micacés gonflants).

1.2. LES SOLS BRUNS EUTROPHES HYDROMORPHES

Ils se distinguent des sols bruns eutrophes vertiques uniquement par l'apparition d'une ségrégation ferrugineuse plus ou moins intense sur l'ensemble du profil ou à faible profondeur. Lorsque le pseudogley apparaît à une profondeur supérieure ou égale à 50 cm, les sols sont encore à rattacher au sous-groupe brun eutrophe vertique, contrairement à la classification adoptée dans le rapport initial (KALOGA, 1965).

Les autres caractéristiques morphologiques peuvent rester identiques. C'est ainsi que l'on trouve dans les sols bruns eutrophes hydromorphes des structures diverses : prismatique large à petite, polyédrique grossière à petite. Les profils observés sont peu nombreux et du type A, B, C.

Le profil VN 3 en donne un exemple à structure polyédrique.

Profil VN 3 :

Situation : Sur la piste de Niaogo à Kaïbo, à 15,6 km de Niaogo, dans une zone plane dépressionnaire d'environ 300 m de large.

Végétation : Savane assez dense à *Terminalia glaucescens* arborescent, *butyrospermum parkii, Bauhinia thonningii, Combretum glutinosum* arborescents, quelques *Poupartia birrea, Parkia biglobosa* ; strate herbacée à *Andropogon gayanus, Cymbopogon sp., Hyparrhenia diplandra.*

Description :

0-37 cm : Gris très foncé (10 YR-3,5/2), devenant gris brun foncé vers le bas avec des taches brun-rouille, bien humifère ; texture argilo-limoneuse avec des variations : lits plus grossiers par endroits et vers le bas, constitués de quartz et fedspaths ; structure polyédrique grossière à moyenne, parfois petite, bien développée, à surstructure prismatique : aspect brisé ; agrégats paraissant très légers par rapport à leur volume ; assez nombreuses racines.

37-55 cm : Brun-gris (10 YR-4,5/2) à nombreuses taches brun-rouille mal délimitées et à quelques petites taches noires en voie d'induration ; humifère ; texture argileuse ; structure polyédrique plus ou moins grossière assez bien développée ; repose sur un lit grossier constitué de graviers de quartz et de feldspaths.

55-140 cm : Brunâtre (10 YR-5,5/4) à nombreuses taches ocre mal délimitées et mal définies ; texture sablo-argileuse à sables feldspathiques et quartzeux, et à nombreux graviers anguleux de feldspaths, de granite et de gravillons ferrugineux ; à la base ligne discontinue de gros cailloux anguleux de quartz et de granite ; structure polyédrique très grossière, parfois à nette tendance prismatique moyennement à assez bien développée.

140-160 cm : Granite peu altéré presque essentiellement constitué de gros cristaux d'orthose.

C'est un sol brun eutrophe hydromorphe bien typé, sur matériau d'apport polyphasé, différencié en un horizon A11 (0-37 cm), un horizon A12 (37-55 cm) et un horizon (B) (55-140 cm). L'hydromorphie se traduit par une accumulation de matière organique en surface (4,6 % de 0 à 20 cm), des rapports C/N élevés (21 de 0 à 20 cm et 16 pour 1,1 % de matière organique de 40 à 55 cm), une ségrégation ferrugineuse et manganifère sous forme de taches. Le rapport fer libre sur fer total est aussi élevé que dans les sols bruns eutrophes vertiques (76 à 89 %).

Le complexe absorbant a les caractéristiques d'un sol brun eutrophe vertique typique :

— pH encore faiblement acide, sans variation significative le long du profil (6,0 en A11, 5,8 en A11 et dans le dernier horizon).

— capacité d'échange de la terre fine élevée (30 mé pour 100 g en A11, 19 mé en A12), ne s'abaissant que dans le dernier horizon à texture plus grossière (14 mé pour 100 g).

— taux de saturation élevé : 93-94 % en A11 et A12, 89 % dans le dernier horizon ; corrélativement, somme des bases élevée en A11 et A12 (28 et 18 mé pour 100 g) ne s'abaissant que dans le dernier horizon à une valeur encore bonne (12 mé pour 100 g).

— capacité d'échange de la fraction argileuse élevée (67 et 64 mé pour 100 g en A11 et A12) supposant une forte représentativité de la montmorillonite dans la fraction argileuse.

L'indice d'instabilité structurale est très faible en surface (0,8) à cause de la forte teneur en matière organique ; il s'élève fortement en A12 (2,4), mais le coefficient de percolation reste très médiocre tant en A11 qu'en A12.

Ce profil montre que l'hydromorphie dans ces sols, même très accusée, ne peut être considérée comme un facteur d'élargissement de la structure.

2. CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

2.1. LES SOLS BRUNS EUTROPHES VERTIQUES

2.1.1. Conditions de formation et évolution

Les sols bruns eutrophes vertiques par leurs caractéristiques fondamentales à savoir :

— une bonne richesse en bases et par conséquent une bonne capacité d'échange et une bonne saturation du complexe absorbant..

— des horizons A de couleur du type brun foncé à l'égard d'un taux de matière organique moyen, doivent être des sols à fraction argileuse constituée pour une proportion encore notable d'argiles du type 2/1 : montmorillonite et illites. La kaolinite à faible capacité d'échange peut en effet assurer difficilement seule une bonne richesse en bases échangeables.

Par ailleurs, la couleur relativement foncée est due probablement à la formation de complexes argilo-organiques, et on sait que ce phénomène très développé pour les argiles du groupe montmorillonitique est négligeable pour la kaolinite (d'HOORE, 1955).

Une bonne illustration de ce phénomène est donnée par la comparaison de deux profils : V 72 et V 50, situés tous les deux sur la piste de Mané à Korsimoro, dans la même situation topographique : zone plane à affleurements de cuirasse par blocs ennoyés, profils distants de 8,6 km seulement. Par ailleurs, teneurs en matière organique et en argile sont sensiblement équivalentes dans les deux profils. Leurs différences morphologiques et analytiques sont essentiellement imputables à la nature des minéraux argileux.

Le profil V 50 se différencie en : un horizon A11 (0-17 cm), ocre-rouge (5 YR-5,5/6) à structure prismatique grossière ; un horizon A12 (17-30 cm) toujours ocre-rouge (5 YR-5/6) légèrement moins gris que le précédent, à structure polyédrique moyenne à petite assez bien développée ; un horizon gravillonnaire (30-64 cm) posé sur une cuirasse ferro-manganifère à induration forte.

Le profil V 72 présente la même différenciation à la couleur près : un horizon A11 (0-20 cm) brun gris (10 YR-5/4) à structure prismatique petite à moyenne et à surstructure prismatique large ; un horizon A12 (20-38 cm), brun (10 YR-5,5/4) moins gris et moins humifère, à structure polyédrique grossière à moyenne, à tendance prismatique bien développée ; un horizon gravillonnaire (38-75 cm) posé sur une cuirasse ferrugineuse à induration forte.

Dans le profil V 50, la capacité d'échange des argiles, faible (16 à 18 mé pour 100 g), signale une fraction argileuse essentiellement constituée d'argiles kaolinitiques sans montmorillonite. Corrélativement, la matière organique a une faible capacité de coloration. Ainsi, malgré des quantités moyennes de matière organique (1,3 % en A11 et 1,1 % en A12), la couleur ocre-rouge du matériau originel n'est guère masquée.

La somme des bases échangeables tombe à 6,5 mé pour 100 g de terre. Les taux de saturation sont plus en accord avec le pH : 82 % en A11 pour un pH de 6,4 et 72 % en A12 pour un pH de 6,1.

Dans le profil V 72, l'apparition de 30 % de montmorillonite en A11, pour des taux d'argile et de matière organique (1,7 %) assez équivalents à ceux du profil V 501 se traduit par une coloration plus foncée de type brun. On passe de (5 YR-5,5/6) dans le V 501 à (10 YR-5/4) dans le V 721. La capacité d'échange des argiles, passe à 34 mé pour 100 g, la somme des bases échangeables est multipliée par deux (12,2 mé), le taux de saturation (88 %) est élevé à l'égard d'un pH moyennement acide (5,7).

Dans l'horizon A12, il existe encore 20 % d'illite-montmorillonite, et pour des taux d'argile et de matière organique (1,2 %) équivalents à ceux du V 502, la couleur passe de 5 YR-5,5/6 à 10 YR-5,5/4.

On retrouve le même pH, le même taux de saturation, la même somme des bases que dans le V 721 ; seule la capacité d'échange calculée des argiles s'abaisse à 25 mé pour 100 g.

L'analyse des différentes fractions d'humus (méthode Tiurin) communiquée par Ch. THOMANN, qui poursuit actuellement des recherches sur les fractions humiques des vertisols et sols bruns eutrophes, est portée sur le tableau ci-après.

N° échantillons	C total	H_1	H_2	H_3	F_1	F_2	Total H+F	Humification (%)	$H_1+H_2+H_3$	F_1+F_2
V 501	7,7	38	18	8	9	28	100	45,8	64	36
V 502	6,1	33	10	9	12	36	100	40	52	48
V 721	9,8	32	27	6	7	28	100	53,6	65	35
V 722	7,2	14	32	7	15	32	100	51,8	53	47

Les fractions humiques sont exprimées en % de la somme acides humique + acides fulviques.

H_1 : acides humiques libres,
H_2 : acides humiques liés au calcium,
H_3 : acides humiques liés au fer et à l'aluminium,
F_1 : acides fulviques libres,
F_2 : acides fulviques liés aux acides humiques.

Pour des proportions d'acides humiques et d'acides fulviques identiques dans les deux sols, le V 72 se distingue nettement par une forte augmentation des acides humiques liés au calcium (H_2) aux dépens des acides humiques libres (H_1) et des acides humiques liés au fer et à l'aluminium (H_3). Cette augmenta-

tion par rapport au profil V 50, déjà très notable en surface (où cependant elle est presque toujours amortie par l'influence des résidus et cendres végétaux), est très forte dans le deuxième horizon où la proportion des acides humiques liés au calcium dépasse le triple de celle du prélèvement V 502.

La formation des sols bruns eutrophes vertiques dans les bassins versants des Voltas Blanche et Rouge apparaît donc liée à la présence de proportions encore notables de montmorillonite et (ou) d'illites. C'est ce que l'on constate dans le tableau ci-après donnant la composition minéralogique de la fraction argileuse des sols bruns eutrophes vertiques.

COMPOSITION MINÉRALOGIQUE DE LA FRACTION ARGILEUSE
DES SOLS BRUNS EUTROPHES VERTIQUES ET DES SOLS BRUNS EUTROPHES HYDROMORPHES

(Analyses réalisées au laboratoire de Géologie et de Paléontologie de l'Université de Strasbourg)

Profils	Prélèvements	K Kaolinite	G Feuillets gonflants	I Illite	Montmorillonite	Talc
VB 23	VB 232	Traces			100	
VL 24	VL 242	50	50			
VY 9	VY 92	+		+	+	
VMK 26	VMK263	80		20		
	V 471	50		10	40 (G)	
	V 472	50		10	40 (G)	
	V 473	70		30		
V 64	V 641	50		10	40	Traces
	V 642	50			30	20
	V 643	50			30	20
V 67	V 671	40			60	Traces
V 72	V 721	50		20	30	
	V 722	80			20	
V 78	V 782	60		20	20	
	V 783	60		20	20	
	V 784	60		20	20	
	V 785	70		10	20	
	VRZ 311	80	20			
	VRZ 312	80	20			
	VRZ 313	80	20			
VS 5	VS 52	60		Traces	40	
	VS 53	60		Traces	40	
	VS 261	50		10	40	
	VS 262	50		10	40	
	VS 263	50		10	40	
	VS 264	50		10	40	
VS 60	VS 602	50		10	40	
VS 61	VS 614	50		10	40	
VS 15[1]	VS 151	50		10	40	
	VS 152	50		10	40	
	VS 153	50			50 (G)	

[1] Vertisol de transition moyennement typé.

Tous les échantillons, sauf VMK 263 et V 473 (qui accusent respectivement 20 et 30 % d'illites non gonflantes), contiennent de la montmorillonite ou /et des édifices micacés gonflants dans les proportions allant de 20 % à 50 % et atteignent dans certains cas particuliers 60 % (V 671) et même 100 % (VB 232). Les argiles du type 2/1 (illites et montmorillonite) représentent souvent 40 à 50 % de la fraction argileuse.

Les minéraux argileux sont parfois mal cristallisés et même très mal cristallisés (prélèvements VY 92, profil VY 9), ce qui peut impliquer soit un caractère de jeunesse, soit au contraire une dégradation (ce profil est en fait une entaille de rivière).

Sur les profils complets analysés, il n'y a pas diminution des argiles du type 2/1 vers la surface, les sols apparaissent par conséquent être en équilibre climatique.

Leur formation exige donc un certain maintien des bases permettant encore une synthèse appréciable et une conservation des argiles du type 2/1. Ceci est réalisé par limitation du drainage externe sur les schistes argileux sériciteux et chloriteux. Dans les roches basiques, au contraire, (amphibolites, roches gabbroïques), un bon drainage externe doit intervenir pour limiter une synthèse montmorillonitique trop intense qui donnerait naissance plutôt à des vertisols.

Dans certains cas, cependant, ils peuvent se former sur un matériau originel exclusivement montmorillonitique ; ce sont alors, soit des sols où le calcaire est nécessaire pour affiner la structure, soit des sols jeunes peu épais dont l'approfondissement aboutira aux vertisols (cf. vertisols peu développés).

Ces sols bruns eutrophes sont donc au point de vue altération, « grossomodo » « intermédiaires » entre les vertisols et les sols de type ferrugineux tropical, tout en restant, comme on le constate, foudamentalement proches des vertisols, alors qu'ils marquent ici une discontinuité avec les sols de type ferrugineux tropical qui accusent toujours 100 % de kaolinite.

2.1.2. Caractères morphologiques

2.1.2.1. Différenciation et couleur

Les profils sont du type AC ou du type A (B) C à différenciation soit progressive, soit bien marquée.

Les horizons A ou tout au moins l'horizon A11 sont de couleur brun foncé, brun à brun gris, parfois brun rouge, dans les planches 7,5 YR ou 5 YR contre 5 Y, 2,5 Y à 10 YR dans les vertisols.

Les horizons (B) sont assez comparables à ceux des vertisols dans les sols dérivés de granito-gneiss : brun olive, olive pâle. Dans les sols dérivés de schistes, ils sont brun-jaune à brun (planches 7,5 YR et 5 YR).

2.1.2.2. Matière organique[1]

La matière organique, peu abondante est répartie soit de façon progressive en profondeur, donnant alors des profils peu différenciés, soit dans des horizons A morphologiquement bien individualisés donnant des profils bien différenciés. D'autres caractéristiques de cette matière organique seront données pages 20 et 30.

[1] Appréciation morphologique qui conditionne le degré de différenciation des horizons.

2.1.2.3. STRUCTURE

2.1.2.3.1. Morphologie ds la structure

Il a été précédemment signalé que la morphologie de la structure (taille et développement) est variée, tant en surface qu'en profondeur.

En ce qui concerne son type, la structure est le plus souvent prismatique ou/et polyédrique tant en surface qu'en profondeur. Mais il semble que la structure fondamentale soit le prisme, car le polyèdre a fréquemment une tendance prismatique et le prisme coexiste avec lui sous forme de surstructure ou de structure première.

L'étude des types morphologiques montre que la structure peut être grossière ou large en surface, plus fine en profondeur, moyenne, petite, grossière ou large sur l'ensemble du profil.

2.1.2.3.2, Variations structurales et éventuelles caractéristiques corrélatives

a Structure et épaisseur du profil

Les différents types structuraux (prismatique, polyédrique, cubique) ainsi que leurs tailles (petite, moyenne, grossière ou large) ne sont pas liés à l'intérieur des sols bruns eutrophes à l'épaisseur du profil. En effet, il existe des profils très bien développés qui ont une structure polyédrique petite à grossière sur une grande profondeur (sols à structure grossière à large en surface, moyenne à petite et du type polyédrique en profondeur), et des profils très bien développés qui ont une structure prismatique petite ou (et) grossière à large sur l'ensemble du profil. On a aussi des profils peu développés qui ont une structure prismatique grossière à large en surface (profil VS 60) et des profils mieux développés qui ont une structure polyédrique sur l'ensemble du profil.

Parmi les profils peu développés de la zone à altération montmorillonitique, on trouve indifféremment des vertisols ou des sols bruns eutrophes vertiques (Cf. vertisols peu développés[1]).

Ce n'est donc pas la profondeur à laquelle se trouve un horizon qui règle sa structure. Les sols bruns eutrophes peuvent donc être des profils bien développés au même titre que les vertisols.

b Structure et position topographique

De même qu'on ne peut établir de lois entre l'épaisseur du profil, le type structural et la taille de la structure, on ne peut en établir plus entre les caractéristiques structurales et la position topographique.

Certains sols assez bien développés (40 à 50 cm), à structure polyédrique moyenne à petite très bien développée ou polyédrique grossière, sont en position dépressionnaire ou en position plane. Parmi les sols à structure grossière à large en surface et relativement petite en profondeur, on en trouve en position plane à drainage externe faible, en position à bon ou assez bon drainage externe et interne d'origine topographique.

On trouve indifféremment, en position dépressionnaire et en position de bon ou d'assez bon drainage externe et interne d'origine topographique, des sols bien développés à structure prismatique petite ou à

[1] Cf. Deuxième partie de ces études : Les vertisols (chapitre I).

structure prismatique large. Certains sols très bien développés à structure polyédrique moyenne à petite dès l'horizon A12 sont en position un peu dépressionnaire et sont même affectés par un pseudogley interne vers 50 cm.

Les sols bruns eutrophes de transition vers les vertisols se trouvent aussi bien en position dépressionnaire que sur faible pente ou en zone plane.

c Structure et composition minéralogique de la fraction argileuse

On trouve la même composition minéralogique dans les fractions argileuses de sols bruns eutrophes à structures diverses (polyédrique petite à grossière, prismatique petite ou large, prismatique à tendance vertique...) sans qu'il intervienne une question de profondeur, tant que la proportion de montmorillonite ou de feuillets gonflants ne dépasse pas 40 % (très rarement 50 %), proportion déjà forte. Au-delà de cette proportion, on a des vertisols dans les profils profonds alors qu'on observe sur les profils peu développés soit des sols bruns eutrophes (parfois sur profil très calcaire), soit des vertisols peu développés. Parmi les sols bien développés accusant autour de 40 % de minéraux 2/1 gonflants dans la fraction argileuse, on trouve des vertisols moyennement typés en position plane, des vertisols hydromorphes, des sols bruns eutrophes vertiques typiques ou de transition vers les vertisols, des sols bruns eutrophes hydromorphes.

On voit que la structure n'est pas non plus une fonction simple de la composition minéralogique de la fraction argileuse.

d Conclusion

La structure n'est une fonction simple d'aucune des caractéristiques envisagées ci-dessus. Le phénomène essentiel de la structuration doit résider dans l'allure des phénomènes de dessiccation et d'humectation. C'est à cet égard que la présence d'une forte proportion d'éléments grossiers (cailloux, graviers...) semble provoquer l'apparition de structures relativement petites du type polyédrique (parfois à tendance grumeleuse pour les horizons superficiels).

L'équilibre des cations joue peut-être un rôle qui apparaît cependant difficilement contrôlable. On trouve des sols à structure prismatique large où le complexe absorbant est saturé essentiellement par du calcium avec des teneurs en magnésium, sodium et potassium faibles ou négligeables. On trouve aussi des sols à structure polyédrique petite à moyenne où le magnésium domine le calcium dans le complexe absorbant.

Mais, d'une façon générale, et malgré les nombreuses variations structurales, la grande majorité des sols bruns eutrophes vertiques accusent une prépondérance nette du calcium sur le magnésium dans le complexe absorbant, avec des teneurs en sodium et potassium négligeables d'un point de vue effet structural.

2.1.3. Caractères analytiques

2.1.3.1. Matière organique : (fig. 23[1])

Elle est peu abondante : 80 % des horizons A11 contiennent moins de 1,8 % de matière organique, et 79 % des horizons A12 en contiennent moins de 1,3 %. Cette matière organique apparaît au point de vue analytique, et d'une façon générale, assez bien répartie en profondeur. Elle est de type relativement bien évolué : 77 % des horizons A11 et presque tous les horizons A12 ont un C/N inférieur à 14.

---

[1] Figures 1 à 23, parues dans les deux premières parties de cet article.

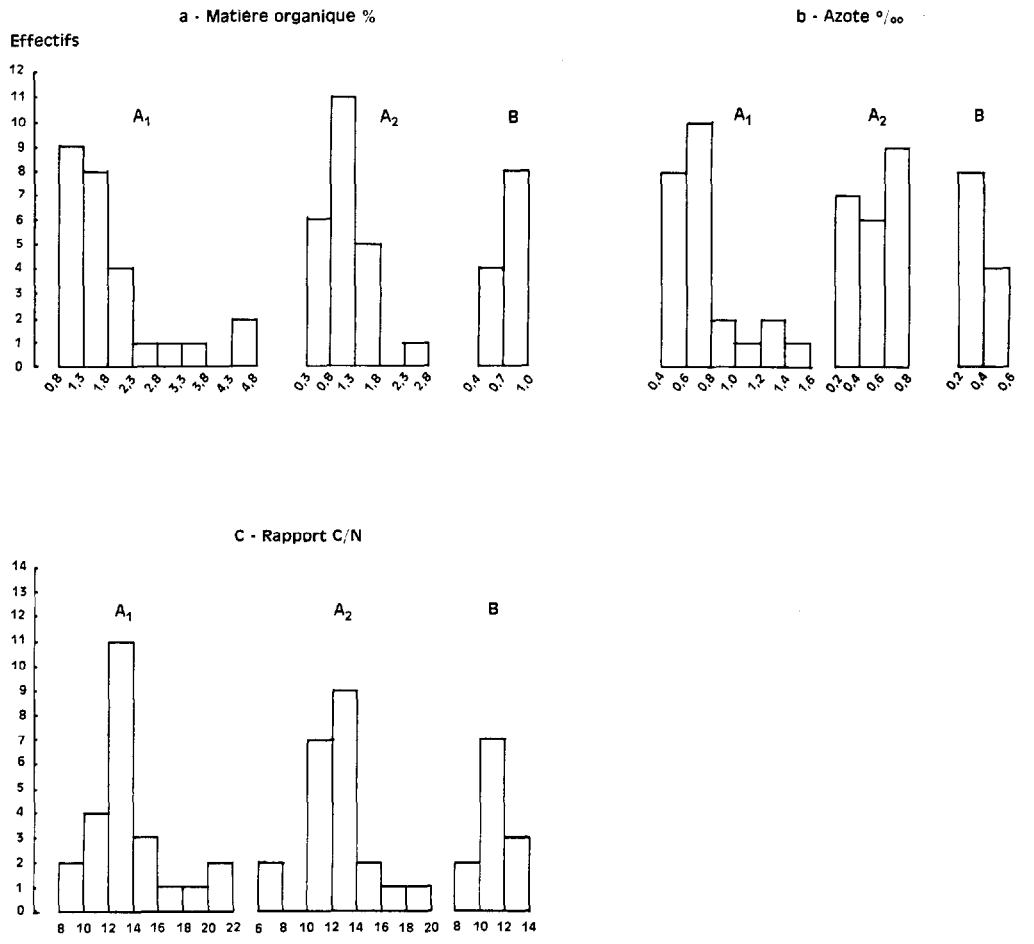

FIG. 23. — Sols bruns eutrophes vertiques

2.1.3.2. GRANULOMÉTRIE : (fig. 24)

Exceptés quelques échantillons superficiels qui se situent dans la classe de texture sablo-argileuse, les autres se partagent entre les classes argilo-sableuses ou argilo-limoneuses et argileuses. Cette texture lourde est un facteur de limitation du drainage interne pour des sols contenant encore 20 à 50 % de montmorillonite, et elle contribue à maintenir ces sols en équilibre climatique.

2.1.3.3. DYNAMIQUE DU FER : (fig. 25)

Le rapport fer libre sur fer total est très élevé dans l'ensemble des sols bruns eutrophes vertiques : il est supérieur à 66 % dans 77 % des prélèvements, et supérieur à 78 % dans 31 % des échantillons (fig. 25 *a*). Les quantités de fer libre (4 à 9 % : valeurs extrêmes 2,5 % et 13 %) et de fer total (5 à 16 %) sont élevées et parfois très élevées, et comme dans le cas des vertisols, il n'y a cependant que très rarement de

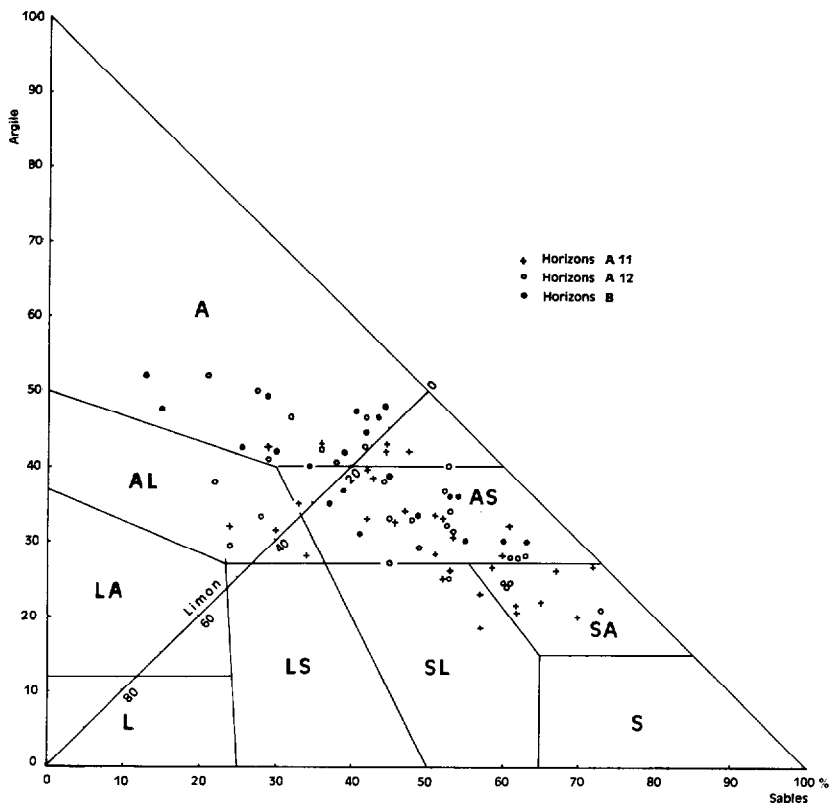

FIG. 24. — Granulométrie

ségrégation ferrugineuse même en position de mauvais drainage. Lors de l'extraction du fer libre, par suite de la méthode utilisée et du type d'argile, le même processus de libération du fer à partir de la nontronite peut jouer. Ici cependant, le milieu est presque constamment faiblement acide à moyennement acide, et les hydroxydes éventuellement individualisés sont moins sujets à l'immobilisation que dans les vertisols.

Des déterminations ont montré une baisse de la capacité d'échange de 27 à 47 % selon les échantillons, après extraction du fer libre (voir tableau ci-après).

On ne retrouve plus, dans les sols bruns eutrophes, la distribution normale du rapport fer libre sur argile (fig. 25*b*) ; les quantités de fer libre n'ont plus de liens étroits avec les quantités d'argile : c'est probablement une conséquence de l'augmentation du taux de kaolinite.

CAPACITÉ D'ÉCHANGE T AVANT ET APRÈS EXTRACTION DU FER LIBRE D'HOORE

(Déterminations effectuées par P. RÉTY, *chimiste au Laboratoire des Sols du Centre ORSTOM de Dakar)*

Echantillon	T avant extraction du fer libre (mé %)	T après extraction du fer libre (mé %)	ΔT (%)	$\Delta T - T_M$[1]
K 882 (Sénégal oriental) Sol brun eutrophe de type rouge.....	38,2	26,3	31	23,8
VMK 23 Sol brun eutrophe	16,7	12,2	26,8	22,3
V 462 Sol brun eutrophe	15,8	8,4	46,6	44,5
V 783 Sol brun eutrophe	20,1	11,9	40,6	36,6
V 742 Vertisol	30,2	19,0	37,1	36,4

2.1.3.4. LE COMPLEXE ABSORBANT : (fig. 26)

a. *Minéralogie du complexe absorbant*

Les échantillons analysés sont constitués de kaolinite avec des proportions notables d'argiles du type 2/1, principalement la montmorillonite et les édifices micacés gonflants (voir tableau page 17). Celà est confirmé pour l'emsemble des sols bruns eutrophes vertiques par les valeurs calculées de la capacité d'échange des argiles (fig. 26*a*). Les fréquences maximum de ces valeurs sont dans les classes 50 à 60 mé pour 100 g en A11 et A12, et 40-50 mé en B ; les valeurs minima sont de l'ordre de 25 mé pour 100 g.

b. *Chimisme du complexe absorbant* : (fig. 26)

Corrélativement à la présence de montmorillonite ou (et) d'illites et à la texture argileuse à argilo-sableuse, la capacité d'échange de la terre fine est assez élevée et s'approche beaucoup de celle des horizons A11 de vertisols, elle oscille entre 10 et 35 mé pour 100 g (exceptionnellement 40) avec fréquences maxima élevées pour tous les horizons dans la classe 15-20 mé pour 100 g (fig. 26*b*). Elle marque une augmentation en A12 et B par rapport à A11.

Le pH (fig. 26*d*) est faiblement acide à travers tout le profil : il oscille pour tous les horizons entre 5,5 et 7,5 (exceptionnellement 8) avec une fréquence maximum très élevée pour A11 et A12, et assez élevée pour B dans la classe faiblement acide 6 à 6,5. Il n'y a pas très souvent de variations significatives du pH le long du profil.

Comme dans le cas des vertisols, et il faut peut-être voir là une certaine parenté, les taux de saturation ne sont pas en accord avec les pH. Le complexe absorbant apparaît comme saturé (taux de saturation V, déterminé analytiquement supérieur ou égal à 100 %) ou presque saturé (V compris entre 80 et 100 %). (fig. 26*c*).

Comme dans le cas des vertisols (cf. KALOGA, 1966 *b*) on admettra, que le complexe absorbant est saturé ou très proche de la saturation.

[1] T_M = capacité d'échange due à la matière organique estimée forfaitairement à 200 mé pour 100 g ; la matière organique est détruite lors de l'extraction du fer libre.

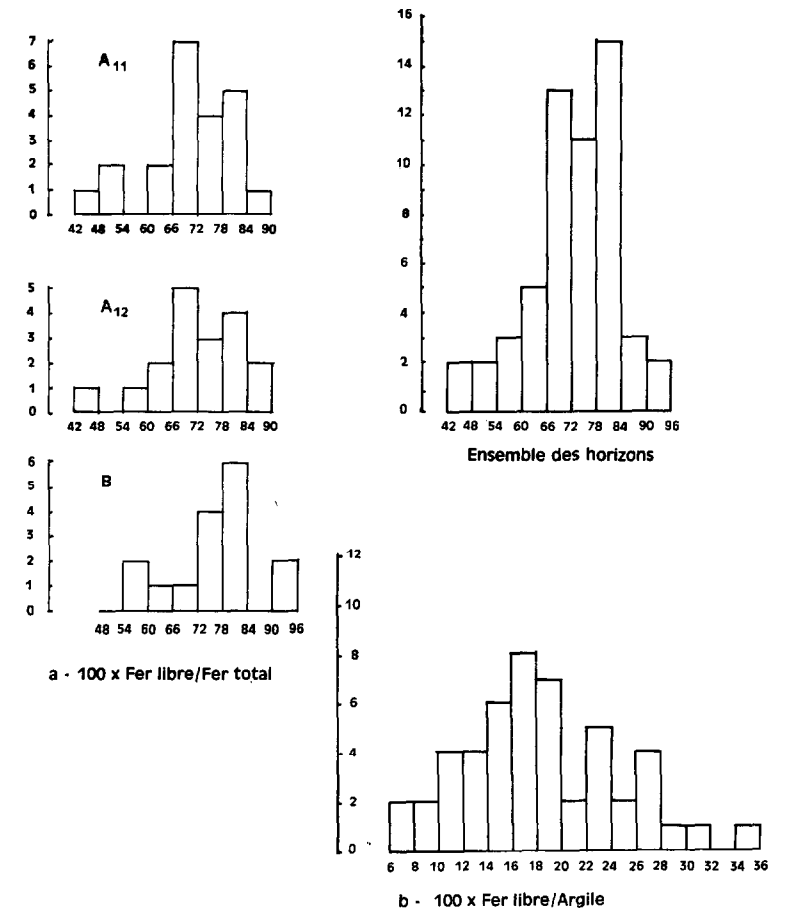

FIG. 25. — Fer : *a.* — 100 × fer libre/ fer total ; *b.* — 100 × fer libre/argile

2.1.3.5. LES CARACTÉRISTIQUES STRUCTURALES

a. *Porosité* : (fig. 27)

Une différence fondamentale apparaît avec les vertisols, à savoir une macroporosité bien plus élevée, particulièrement en ce qui concerne la comparaison entre les horizons de profondeur : le nuage des points figuratifs est ici à cheval sur les zones asphyxie partielle et absence d'asphyxie.

En ce qui concerne la porosité totale des mottes, à quelques rares exceptions près, elle est supérieure à 30 cm^3 pour 100 g de terre, alors que la valeur maximale pour les horizons B de vertisols était de 32 cm^3 pour 100 g de terre.

b. *Tests Henin* (HÉNIN et coll., 1960) : *Indice d'instabilité structurale et coefficient de percolation.* (fig. 28)

Ces caractéristiques paraissent à première vue assez semblables à celles des vertisols avec seulement disparition des échantillons extrêmes à comportement identique à celui des terres sodiques (échantillons à coefficient de percolation nul et indice d'instabilité structurale élevé à très élevé).

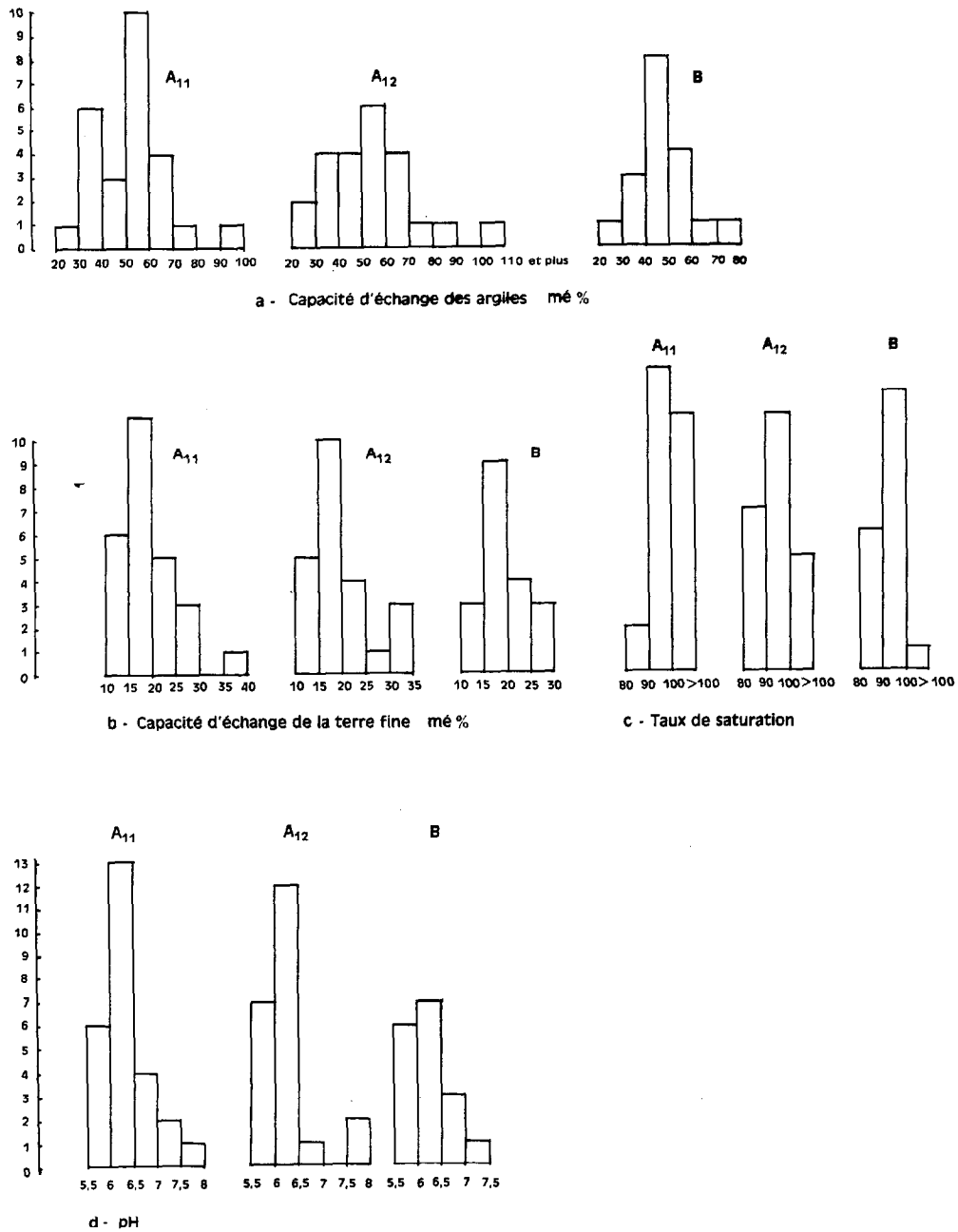

FIG. 26. — Complexe absorbant : *a.* — Capacité d'échange des argiles mé % ; *b.* — Capacité d'échange de la terre fine mé % ; *c.* — Taux de saturation ; *d.* — pH

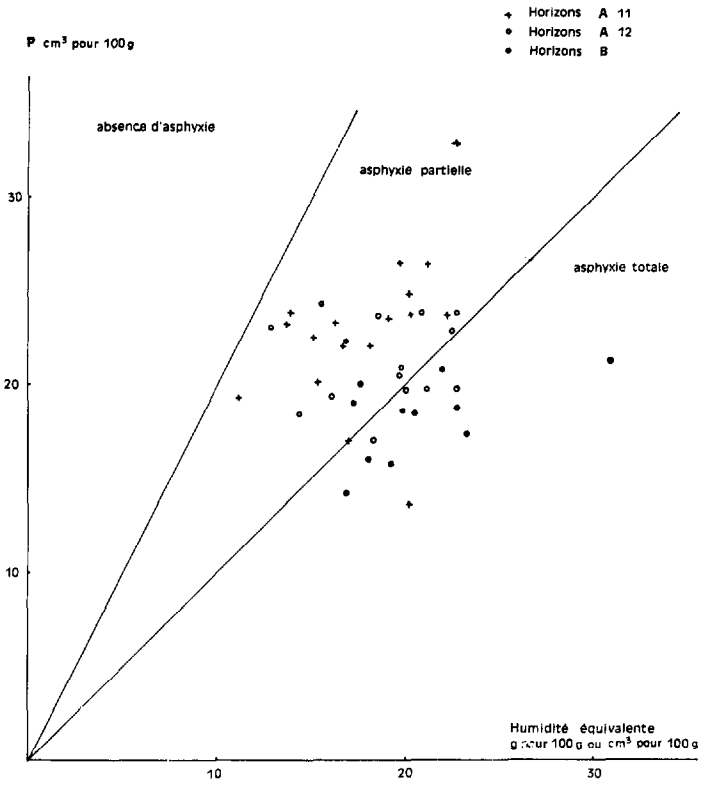

FIG. 27. — Porosité

En effet, les deux nuages de points se superposent à peu près, mais il y a dans les vertisols un abaissement presque constant du coefficient de percolation qui est très net lorsqu'on compare respectivement entre eux des horizons A12 et B. Par ailleurs, ce sont les profils de vertisols peu développés qui contribuent à l'amélioration de la position du nuage de points des vertisols.

On peut donc dire qu'il y a dans les sols bruns eutrophes une nette amélioration des caractéristiques analytiques structurales surtout en ce qui concerne les horizons de profondeur.

2.1.3.6. LES RÉSERVES MINÉRALES

Les réserves minérales, appréciées par les bases totales, sont très élevées dans certains profils tels VRZ 31 (dosage par attaque triacide).

	Ca	Mg	K	Na	Somme des bases
311	68,9	33,2	Traces	8,7	111,7
VRZ 312	71,2	33,2	Traces	8,7	113,1
313	134,6	33,2	Traces	7,7	175,5

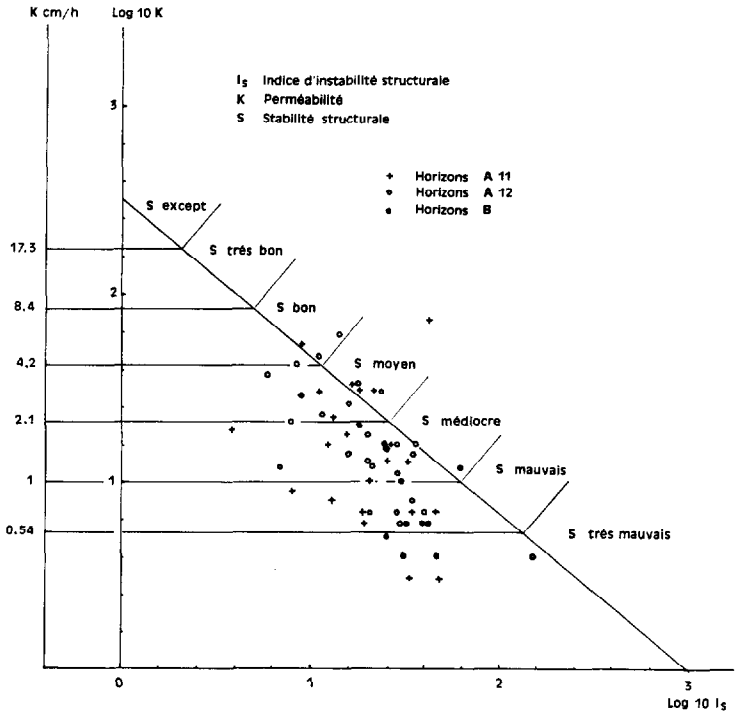

FIG. 28. — Indice d'instabilité structurale I_S, Perméabilité K, Stabilité structurale S

Dans d'autres profils, tel que VMK 23, elles apparaissent beaucoup plus faibles, mais encore appréciables : 48 mé pour 100 g en A11 et 26 mé en A12 (il faut signaler cependant que les chiffres ont été obtenus ici pas attaque à l'acide nitrique concentré beaucoup moins actif que l'attaque triacide).

2.2. LES SOLS BRUNS EUTROPHES HYDROMORPHES

2.2.1. Conditions de formation et évolution

Les sols bruns eutrophes hydromorphes ne se distinguent des sols bruns eutrophes vertiques que par l'apparition, à faible profondeur ou sur l'ensemble du profil, de la ségrégation ferrugineuse.

Les conditions de formation sont donc les mêmes dans les deux types de sols. Le caractère évolutif distinctif des sols bruns eutrophes hydromorphes, à savoir la ségrégation ferrugineuse peut être due essentiellement à un apport exogène de fer.

2.2.2. Caractères morphologiques et analytiques

2.2.2.1. MORPHOLOGIE

Les couleurs peuvent rester proches de celles des sols bruns eutrophes vertiques avec seulement superposition de la ségrégation ferrugineuse sous forme de taches, mais elles peuvent aussi être du type pseudogley avec parfois des revêtements de sables fins blanchis sur les faces des agrégats.

2.2.2.2. La matière organique

L'accumulation de matière organique en surface sous l'action des processus d'hydromorphie n'est pas une caractéristique constante, mais même lorsqu'elle n'existe pas, le C/N garde une nette affinité hydromorphe.

2.2.2.3. Les autres caractéristiques analytiques

La comparaison des quelques profils de sols bruns eutrophes hydromorphes ayant fait l'objet de déterminations analytiques, avec les sols bruns eutrophes vertiques, montre qu'il n'existe pas de caractères analytiques vraiment spécifiques des premiers par rapport aux seconds. On peut cependant noter dans les sols bruns eutrophes hydromorphes une tendance plus fréquente à l'abaissement du rapport fer libre sur fer total, du rapport fer libre sur argile, des caractéristiques analytiques structurales (stabilité structurale, particulièrement le coefficient de percolation) et parfois une acidification plus poussée et une baisse de la capacité d'échange de la terre fine.

L'analyse minéralogique montre que le sous-groupe hydromorphe peut accuser des taux de minéraux 2/1 équivalents à ceux du sous-groupe vertique (exemple : 50 % de kaolinite, 30 % d'illites et 20 % de montmorillonite tout le long du profil).

3. DISCUSSION DE LA CLASSIFICATION

3.1. COMPARAISON AVEC LES SOLS DE TYPE FERRUGINEUX TROPICAL - CARACTÈRES DISTINCTIFS DES SOLS BRUNS EUTROPHES

3.1.1. Caractères morphologiques

a. La coloration relativement foncée des horizons A ou tout au moins de l'horizon A11 : couleur de type brun foncé non liée à des quantités importantes de matière organique, alors que le sol de type ferrugineux tropical des mêmes régions à des horizons A de couleur claire, ou en tout cas une matière organique à faible pouvoir colorant (type ocrique des Américains).

b. La différenciation du profil progressive, soit dès l'horizon A11, soit seulement à partir de l'horizon A12, parfois inexistante.

c. La structure souvent prismatique, de taille et de développement variables (peu développée à très bien développée) ou polyédrique bien développée, alors que la structure caractéristique des sols ferrugineux tropicaux ou de type ferrugineux tropical est du type polyédrique peu développée dans les horizons A argileux ou argilo-sableux et du type fondu dans les horizons A.

d. La rareté d'une ségrégation ferrugineuse nette, malgré le mauvais drainage (interne et parfois externe) manifeste, se traduisant parfois par une ségrégation essentiellement manganifère sous forme de concrétions, et aussi malgré des quantités de fer libre et de fer total élevées (bien plus élevées que dans les sols ferrugineux tropicaux).

e. La tendance fréquente à passer aux vertisols par intensification de l'hydromorphie d'origine pétrographique.

3.1.2. Caractères analytiques

a. Une capacité d'échange relativement élevée de l'ordre de 15 à 20 mé pour 100 g de terre, et parfois plus.

b. Une bonne saturation du complexe absorbant : taux de saturation de l'ordre de 90 % et plus, malgré un pH faiblement acide de l'ordre de 6,0, sans variation bien définie à travers le profil. En conclusion, les sols bruns eutrophes ont une bonne richesse en bases échangeables qui n'existe pas dans les sols de type ferrugineux tropical de ces zones. Ce caractère est fondamental parce que faisant partie du concept initial de ces sols (eutrophes).

3.2. COMPARAISON AVEC LES VERTISOLS : CARACTÈRES DISTINCTIFS DES SOLS BRUNS EUTROPHES PAR RAPPORT AUX VERTISOLS

3.2.1. Caractères morphologiques

a. La couleur qui tout en restant dans les tons bruns apparaît très nettement rubéfiée par rapport à celle des vertisols, rapprochant les sols bruns eutrophes plutôt des sols ferrugineux tropicaux. Il a été signalé (Cf. KALOGA, 1966 *b* : Relations avec les sols bruns eutrophes) que cette rubéfaction peut être en relation avec l'augmentation du taux de kaolinite. Il est possible qu'elle suive en même temps l'amélioration du drainage interne.

b. La structure qui, bien qu'étant souvent de type prismatique comme dans les vertisols, ne présente pas les manifestations de remaniements internes intenses telles que les faces de glissement luisantes et striées, même lorsqu'elle est bien développée. Elle peut être aussi du type polyédrique (mais souvent à tendance prismatique ou cubique) sur tout le profil, alors que dans les vertisols, la structure polyédrique est surtout limitée aux horizons A, (les horizons B ayant presque toujours une structure prismatique plus ou moins tronquée) et reste une sous-structure généralement peu développée quand elle existe dans un horizon B.

3.2.2. Caractères analytiques distinctifs

a. Une capacité d'échange de cations et une richesse en bases échangeables moins élevées que dans les vertisols (caractères très fréquents mais non absolus).

b. Une moins grande richesse en montmorillonite (caractère très fréquent mais non absolu).

c. Une porosité plus élevée.

d. Des caractéristiques physiques analytiques (coefficient de percolation et indice d'instabilité structurale) meilleures dans l'ensemble bien que les taux d'argile soient assez comparables.

3.3. COMPARAISON AVEC LES SOLS ROUGES DU NORD-CAMEROUN

De nombreuses caractéristiques rapprochent les sols rouges du Nord-Cameroun et les sols bruns eutrophes de la Haute-Volta :

— Les sols rouges (MARTIN, SIEFFERMANN et VALLERIE, 1966) sont situés en paysage accidenté comme certains sols bruns eutrophes et passent comme ces derniers aux vertisols en bas de pente.

— les roches mères sont souvent identiques dans les deux types de sols.
— la minéralogie des argiles est la même.
— les teneurs en argile peuvent être les mêmes.
— la somme des bases échangeables est du même ordre ainsi que le pH et ses variations dans le profil.
— le taux de saturation des sols rouges est très proche de celui des sols bruns eutrophes, mais reste légèrement inférieur à ce dernier.
— les quantités de fer total sont assez identiques, mais le rapport fer libre sur fer total est plus bas dans les sols rouges, malgré l'individualisation plus apparente du fer[1].

Etant donné que les méthodes de détermination du fer libre employées (méthode d'Hoore et méthode Debb) sont capables de libérer le fer du réseau des argiles, on ne peut pas penser que l'abaissement du rapport fer libre/fer total dans les sols rouges par rapport aux sols bruns eutrophes soit dû à la présence plus importante de fer dans le réseau des argiles, mais probablement au fait que certains oxydes ou hydroxydes de fer des sols rouges ne sont pas attaqués et que ces composés du fer sont absents dans les sols bruns eutrophes. Du reste, l'absence de ségrégation ferrugineuse dans les sols bruns eutrophes vertiques, malgré souvent de mauvaises conditions de drainage externe et interne et malgré un rapport fer libre fer total et des quantités de fer élevées, laisse supposer que le fer n'y est pas sous forme réellement disponible (oxydes et hydroxydes).

La différence essentielle entre les sols rouges et les sols bruns eutrophes résiderait donc dans la dynamique du fer. Dans ces derniers, le fer existerait principalement sous une forme intégrée dans le réseau des argiles, alors que dans les sols rouges une bonne proportion du fer doit exister sous forme d'oxydes et d'hydroxydes.

Cette différence de comportement s'explique par un drainage interne et externe très bon dans les sols rouges et dans le milieu de formation de leur matériau originel. Ce dernier est quand même suffisamment riche en bases grâce à la présence consatnte de la roche en voie d'altération (par exemple : sols rajeunis constamment par l'érosion) pour que la synthèse de montmorillonite ait lieu. Dans ces conditions, il y a oxydation immédiate des composés ferrugineux libérés par altération de la roche, formation d'oxydes et hydroxydes ferriques stables, d'où une moindre possibilité d'intégration dans le réseau. C'est par processus d'aération du milieu générateur que Van Der MERWE (1940) explique la formation des sols rouges associés aux sols d'argile noire subtropicaux en Afrique du Sud.

Mais l'individualisation des oxydes et hydroxydes de fer doit avoir une influence sur le comportement des argiles. En effet, ces composés du fer peuvent se fixer sur l'argile, occupant une partie des positions d'échange et empêcher ainsi les liaisons matière humique-argile, c'est-à-dire la formation de la matière humique liée à l'argile.

Nous avons essayé, en collaboration avec Ch. THOMANN (qui fait des études sur la matière organique des vertisols et des sols bruns eutrophes) de vérifier cette hypothèse. Il s'est avéré, avec une parfaite coïncidence, que les rares profils qui constituent une exception par rapport à l'ensemble (par leur rapport acides humiques/acides fulviques faible et surtout par leurs faibles teneurs en acides humiques liés au calcium) sont les profils de couleur rouge (2,5 YR). Ces profils se comportent plutôt comme des sols de type ferrugineux tropical (tels que THOMANN, (1964) a défini les fractions humiques de ces derniers), même lorsque leur teneur en montmorillonite est équivalente à celle d'un vertisol[2]. Signalons que les acides humiques liés au calcium représentant probablement l'essentiel des acides humiques liés à l'argile.

---

[1] Méthode Debb et méthode d'Hoore sont équivalentes d'après les comparaisons faites par ARIAL-FARGEAS, (1963).

[2] Ce résultat fondamental fera l'objet d'une note à paraître dans les Cahiers de l'ORSTOM, série Pédologie, en collaboration avec Ch. THOMANN et A. CHAUVEL.

En conclusion, comme le signalent MARTIN, SIEFFERMANN et VALLERIE (1966), les sols rouges bien qu'ayant un complexe absorbant minéral à dominance de montmorillonite, ne peuvent être classés dans les sols à Mull. Ils appartiennent aux sols à sexquioxydes individualisés. L'individualisation du fer semble donc être un processus pédologique très important et on comprend mieux le sens de la définition des sols à Mull : « sols formés sous l'influence d'une matière organique fortement évoluée, à humus de type « Mull » et ne comportant que peu de sexquioxydes métalliques (de fer en particulier) libérés qui restent par ailleurs liés au complexe argilo-humique » (AUBERT, 1965).

4. CONCLUSION

Le type d'altération (2/1, principalement montmorillonitique), auquel est lié dans les conditions normales de genèse de la montmorillonite (milieu à drainage interne déficient), un type de matière organique (Mull), apparaît être l'élément essentiel de la spécification des sols bruns eutrophes. La structure (type et taille), la position topographique, l'épaisseur du profil, apparaissent comme des éléments de différenciation d'ordre secondaire. C'est ainsi que ces sols peuvent se développer en position de bon ou de mauvais drainage externe. Certains profils typiques sont même développés en position dépressionnaire. Ils peuvent être peu épais, mais peuvent aussi atteindre la même épaisseur que les vertisols.

Les caractéristiques trop restrictives du sous-groupe modal (drainage et caractères structuraux) n'avaient pas permis à l'époque de la réalisation de ce travail (1962 à 1964) de classer des sols dans ce sous-groupe. La plupart des sols ont été rangés dans un sous-groupe vertique. Le terme vertique est pris dans le sens de la classification française d'alors (structure élargie) et non dans le sens américain (présence de faces de glissement patinées et striées). En effet, la classification française d'alors (AUBERT, 1963), retenait d'abord, dans la définition des vertisols, l'élargissement de la structure : « structure polyédrique ou prismatique large et grossière, accompagnée d'une macroporosité extrêmement faible des blocs sur au moins la moitié du profil ».

Cependant, dans certaines conditions spéciales de genèse de la montmorillonite (milieu de formation très aéré, mais richesse en bases maintenue par rajeunissement continuel du sol) l'individualisation des sexquioxydes de fer peut empêcher la formation du « Mull » lié à l'argile et donner naissance à des sols qui semblent devoir être rattachés aux sols à sexquioxydes individualisés.

La morphologie des sols bruns eutrophes est donc variée, mais les caractères analytiques essentiels (caractéristiques du complexe absorbant et dynamique du fer) forment une entité bien définie et justifient bien la place de ces sols dans la classe des sols à mull.

Ils peuvent apparaître comme des sols jeunes (pas plus que les vertisols cependant), mais sans tendance évolutive sûre vers l'un ou l'autre des deux grands types de sols : vertisols et sols ferrugineux tropicaux. Ils ne semblent pouvoir passer aux vertisols que par une intensification des phénomènes de gonflement liée à une augmentation de la teneur en montmorillonite (non constamment liée à la position topographique seule) et à une intensification de l'hydromorphie. Ce n'est donc pas par simple approfondissement du profil ou par simple diminution du drainage que l'on passe automatiquement aux vertisols.

Ils ne sont des sols de transition que dans certaines conditions particulières (sols de pente), mais ils peuvent occuper des positions topographiques identiques à celles des vertisols. Ils sont alors des sols en équilibre climatique comme les vertisols. En effet, dans les conditions normales de genèse de la montmorillonite (non individualisation du fer), la nature argileuse du matériau originel et la proportion notable de montmorillonite, en font des sols à mauvais drainage interne, qui évolueront difficilement vers les sols ferrugineux tropicaux.