

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

Sols associés aux vertisols : sols bruns eutrophes et sols halomorphes

B. KALOGA**

CHAPITRE II - LES SOLS HALOMORPHES

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 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.

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.

* Les 1^{re} et 2^e parties ont paru respectivement dans le vol. IV, n° 1 et n° 3, 1966. Le chapitre I, de la 3^e partie, a paru dans le vol. VIII, n° 1, 1970.

** Maître de Recherches, Centre ORSTOM de Dakar.

ABSTRACT

Two types of soil are associated with the same alteration complex as the Vertisols. They are : eutrophic brown soils (1), 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 on 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.

PLAN DE L'ÉTUDE

INTRODUCTION : DÉFINITIONS ET CLASSIFICATION

1. LES TYPES MORPHOLOGIQUES

- 1.1. Les sols à recouvrements superficiels non redifférenciés et généralement peu épais (ou d'épaisseur nulle à quasi nulle).
- 1.2. Les sols à recouvrements superficiels différenciés en deux horizons (et généralement plus épais).
- 1.3. Conclusion à l'étude morphologique.
 - 1.3.1. La structure.
 - 1.3.2. Processus fondamental de la différenciation des profils : les apports polyphasés.

2. CARACTÉRISTIQUES ANALYTIQUES GÉNÉRALES

- 2.1. Les sols à recouvrements superficiels non redifférenciés et généralement peu épais.
- 2.2. Les sols à recouvrements superficiels différenciés en deux horizons.

3. DISCUSSION DE LA CLASSIFICATION

- 3.1. La conception classique du solonetz (et du solod) : comparaison avec les sols halomorphes des bassins versants des voltas blanche et rouge.
- 3.2. Evidence du processus d'apports polyphasés dans les sols halomorphes des bassins versants des voltas blanche et rouge.

4. CONCLUSIONS

INTRODUCTION : DÉFINITIONS ET CLASSIFICATION

La classe des sols halomorphes groupe un ensemble de sols dont les caractères essentiels d'évolution (AUBERT, 1963) sont :

— soit la richesse en sels solubles (conductivité de l'extrait de pâte saturée supérieure à 4 m-mho/cm à 25 °C);

— soit la richesse en sodium échangeable d'au moins un horizon (plus de 12 % de la capacité d'échange saturée en sodium) et provoquant la formation d'une structure massive, diffuse.

Cette définition a été complétée en 1965 (AUBERT, 1965) particulièrement en ce qui concerne les sols relevant du deuxième processus d'halomorphie, dont l'évolution est dominée « par la richesse du complexe absorbant d'un de leurs horizons en ions (Na, K, peut-être Mg) susceptibles de provoquer la dispersion de l'argile et l'apparition d'une structure massive, diffuse et d'une compacité très élevée. $\frac{Na+K}{T}$ est en général, supérieur à 15 % ».

Dans cette étude rédigée antérieurement à cette nouvelle définition, il n'a été tenu compte que du sodium échangeable. Du reste, les teneurs en potassium échangeables sont très faibles et négligeables.

Les sols halomorphes des régions étudiées relèvent exclusivement du deuxième processus. Il s'agit d'une halomorphie d'origine pétrographique : le sodium provient de l'altération des minéraux de la roche mère et se maintient dans le milieu d'altération qui en conséquence est très basique, à drainage très déficient et riche en silice. Ce sont là par excellence les conditions de genèse des phyllites 2/1 et particulièrement de la montmorillonite. Ainsi, comme on l'a déjà signalé*, ces sols sont associés au même complexe d'altération que les vertisols et les sols bruns eutrophes.

De nombreux profils présentent l'aspect des sols lessivés à « alcalis » mais l'étude montrera que la présence des horizons superficiels sableux est due à des processus d'apports polyphasés et non à un lessivage des colloïdes. Il a donc été distingué qu'un groupe, celui des sols non lessivés à alcalis, et un seul sous-groupe, celui des sols à faible teneur en sels solubles.

1. LES TYPES MORPHOLOGIQUES

Il existe deux types morphologiques principaux. Le premier est constitué par les sols à recouvrements superficiels non redifférenciés (et généralement peu épais), le deuxième type par les sols à recouvrements superficiels différenciés (et généralement plus épais).

* Cf. 2^e Partie : Les Vertisols.

1.1. LES SOLS A RECOUVREMENTS SUPERFICIELS NON REDIFFÉRENCIÉS ET GÉNÉRALEMENT PEU ÉPAIS

Ils se différencient en deux catégories selon que l'horizon A comporte ou non à sa base une ligne ou une mince couche gris blanchâtre. Dans un concept d'évolution en place, ces sols auraient été classés solonetz, les types à horizon A gris blanchâtre à la base marqueraient le passage aux solonetz solodisés, tels que BOCQUIER (1964) les a décrits dans le bassin tchadien.

1.1.1. Les sols à horizons A non blanchâtres à la base (Type Solonetz)

Le profil VY 76 donne un exemple de la morphologie de ces sols qui par ailleurs, est très variée.

Profil VY 76 :

- | | | |
|-------------|---|---|
| Situation | : | Sur la piste de Norguain à Niaogo, à 700 m de Norguain, dans une plaine en contre-bas d'une large butte gravillonnaire. |
| Végétation | : | Maigre savane arbustive (ancienne jachère) à <i>Combretum glutinosum</i> , <i>Bauphinia sp.</i> , <i>Balanites aegyptiaca</i> ; strate herbacée à <i>Andropogon gayanus</i> en touffes exhaussées. |
| Description | : | |
| 0-10 cm | : | Gris beige (10 YR 5,5/3) ; paraissant faiblement humifère ; texture sableuse faiblement argileuse ; structure prismatique moyennement développée à tendance cubique avec des faces de décollement bien individualisées ; cohésion d'ensemble forte ; cohésion des éclats assez faibles ; porosité uniquement tubulaire, moyenne ; présence d'assez nombreux cailloux de quartz et de quelques gravillons ferrugineux ; paraît plaqué sur l'horizon suivant. |
| 10- 32 cm | : | Brun foncé (10 YR 4/2) à plages diffuses plus claires (10 YR 5/3) dues à une répartition irrégulière de la matière organique ; humifère ; texture argileuse ; structure prismatique colonnaire ; dans la partie supérieure sous-structure en plaquettes obliques à faces concaves, ou polyédrique moyenne anguleuse se développant assez difficilement par un réseau de fines fentes de dessiccation (assemblage compact) ; les fentes de dessiccation verticales sont bien marquées et peuvent atteindre 1/2 cm de large ; cohésion des agrégats très forte ; présence d'assez nombreux gravillons ferrugineux, de graviers et quelques cailloux de quartz, de quelques nodules calcaires. |
| 32- 90 cm | : | Olive pâle (5 Y 6/4) ; ne paraissant pas humifère ; texture argileuse à argilo-sableuse ; tranche brutalement sur le précédent par le peu de développement de la structure ; structure du type polyédrique grossier en assemblage compact, induite par un réseau de très fines fentes de retrait ; pas de fentes de retrait verticales ; cohésion d'ensemble très forte ; intensément truffé de nodules, concrétions et amas calcaires blanchâtres avec des plages essentiellement calcaires ; contient quelques petits gravillons ferrugineux et de nombreuses concrétions noires (manganifères). |
| 90-105 cm | : | Lit de cailloux de quartz émoussés mêlés à du gneiss altéré devenu essentiellement feldspathique ; contient quelques gravillons ferrugineux. |

Interprétation morphologique :

- 0- 10 cm : Horizon A, apport sableux.
 10- 32 cm : Horizon (B)₁ structural, ayant en même temps la structure solonetzique et la structure verticale.
 32- 90 cm : Horizon (B)₂, accumulation calcaire.
 90-105 cm : Horizon C qui n'est pas en réalité le véritable matériau originel puisqu'il est lui-même remanié comme le reste du profil.

Interprétation analytique :

La figure 45 montre la granulométrie de la fraction sableuse, en courbes cumulatives en log probabilité, destinées seulement à la comparaison des différents échantillons du même profil.

Lorsqu'on compare les trois horizons, on constate le phénomène qui a été déjà signalé dans la première partie de cette étude, à savoir une diminution de la fréquence des sables fins de la surface vers la profondeur. Le premier et le deuxième horizon marquent une nette parenté quant au mode d'apport (courbes cumulatives tendant à être parallèles sur une grande partie de leur tracé) ; cependant le deuxième horizon se distingue par une diminution progressive de la fréquence des sables fins, c'est-à-dire par un triage plus faible.

Quant au troisième horizon, il appartient à un type d'apport paraissant différent des deux premiers ; il est caractérisé par une augmentation de la proportion des sables grossiers compris entre les diamètres $\alpha = -1$ et $\alpha = 2$ et une diminution très nette de la fréquence des sables fins compris entre les diamètres $\alpha = 3$ et $\alpha = 13$, c'est-à-dire par un triage encore plus faible.

Des déterminations de minéraux lourds dans la fraction sableuse comprise entre 500 et 50 μ ont été effectuées par M. DELAUNE.

Les résultats sont consignés dans le tableau ci-dessous.

MINÉRAUX LOURDS. POURCENTAGES NUMÉRIQUES

Profil VY 76

N° échantillon	Augite, pigeonite	Hornblende	Sillimanite	Disthène	Staurotide	Grenat	Epidote	Zircon	Tourmaline	Rutile	Anatase	% pondéral
VY 761		6		+	+	+	87	6	+	+	+	1,20
VY 762	+	4	+		1	+	90	4	1	1		0,85
VY 763		9			+	+	88	2	1	+		0,84

On ne peut s'attendre à des différences spectaculaires, étant donné que les remaniements et transports ont lieu sur de faibles distances et que la roche mère reste assez identique.

On observe, dans l'horizon de surface sableux, une certaine concentration en minéraux lourds (pourcentage pondéral de 1,20 %) qui coïncide avec une augmentation de la fréquence des sables fins dans cet horizon et du pourcentage numérique de zircon. Dans le troisième horizon, la diminution de la fréquence des sables fins par rapport au deuxième horizon, ne se traduit pas par une moindre proportion de minéraux lourds parce qu'il est plus riche en minéraux altérables (nette augmentation du pourcentage numérique de hornblende par rapport au deuxième horizon).

L'horizon A a un pH neutre (6,9) et un complexe absorbant saturé, mais la couleur ne marque pas de tendance brun eutrophe (c'est-à-dire coloration relativement foncée).

Dans les horizons (B), le complexe absorbant minéral a la même composition que dans les Vertisols typiques : 60 % de montmorillonite et 40 % de kaolinite en (B)₁, 90 % de montmorillonite et 10 % de kaolinite en (B)₂. Le pH neutre en (B)₁ (7,4) est franchement alcalin en (B)₂ (8,1). Le rapport Na/capacité d'échange est de 15,5 % en (B)₁ et 23 % en (B)₂. Les caractéristiques physiques sont typiquement celles d'une terre sodique : macroporosité nulle, coefficient de percolation nul et indice d'instabilité structurale très élevé (10,2).

Il faut signaler cependant à propos de la morphologie du profil VY 76 que la présence de la sous-structure en plaquettes dans l'horizon (B)₁ est peu fréquente dans la zone qui fait l'objet de cette étude. Mais c'est un caractère typique et très fréquent dans les sols halomorphes du centre-sud de la Haute-Volta, particulièrement ceux du degré carré de Tenkodogo (qui en fait appartient entièrement aux bassins versants des Voltas Blanche et Rouge (*)).

Les variations autour de ce type sont :

a) Horizon A :

Epaisseur : Variable le plus souvent 0 à 10 cm, parfois 18 à 28 cm.
Couleur : Brunâtre ou brun grisâtre à taches rouille ou brun-rouille mal délimitées.
Texture : Sableuse à sablo-argileuse.
Porosité : Souvent du type mie de pain pour les horizons d'épaisseur très faible (de l'ordre de 1 cm).

b) Horizon (B)₁ :

Epaisseur : 10 à 20 cm.
Couleur : Le plus souvent brune, brun olive ou brun olive pâle ; présence de petites taches ocre, beige, mal délimitées.
Texture : Argilo-sableuse à sablo-argileuse.
Structure : — Prismatique bien à assez bien développée, grossière ou moyenne à petite.
— Prismatique peu développée en assemblage compact, cohésion d'ensemble très forte.
— polyédrique grossière à petite très bien développée coexistant avec la structure colonnaire.
— Cohésion des agrégats exceptionnelle.

c) Horizon (B)₂ :

Epaisseur : 35 cm à plus de 100 cm.
Couleur : Olive, brun-jaune, plus rarement brun-olive ; présence de taches beiges, ocres, jaunes, noires, grises ou brun-gris, de petites concrétions noires manganifères cassables.

* KALOGA (B.) : Etude Pédologique de la Haute-Volta à 1/500 000. Feuilles de Tenkodogo et de Ouagadougou. Rapport à paraître au Centre ORSTOM de Dakar-Hann.

— Accumulation calcaire moins abondante sous forme d'amas ou (et) de nodules calcaires.

Structure : A la base, présence fréquente de la structure prismatique petite aplatie ou de la structure en plaquettes à bases horizontales ou obliques patinées ou non.
Structure polyédrique moyenne et grossière bien développée dans la partie supérieure.

Structure massive passant à prismatique petite aplatie dans le bas.

— Différenciation en deux horizons, le deuxième se distinguant du premier par une couleur plus pâle, ou une ségrégation ferrugineuse et une accumulation calcaire plus intenses, ou par l'apparition de la structure prismatique petite aplatie ou en plaquettes.

d) Horizon C :

— Présence d'amas calcaires gris-cendre, de lits de cailloux de quartz et de gravillons ferrugineux, de poches sableuses (remaniements).

1.1.2. Les sols à horizon A comportant une ligne ou une mince couche gris blanchâtre à la base

Ces sols sont moins représentés que les précédents. Leurs profils assez identiques à ceux de ces derniers ne s'en distinguent que par :

a) Un horizon A généralement plus épais (20 à 25 cm) :

- à texture souvent plus argileuse : sablo-argileuse ou sablo-argileuse à argilo-sableuse.
- à revêtements de sables fins blanchis sur les faces des prismes.
- à cohésion d'ensemble forte à très forte.

b) la présence à la base de l'horizon A d'un petit horizon gris blanchâtre limité :

- soit à une ligne plus sableuse.
- soit à un mince lit caillouteux.
- soit à une mince couche (1 à 2 cm) argilo-sableuse à structure polyédrique moyenne et petite très bien développée.
- soit à quelques petites poches gris blanchâtre.

c) un horizon (B)₁ à structure :

- soit prismatique large moyennement développée parfois à faible tendance colonnaire ou à sous-structure en plaquettes obliques patinées.
- soit prismatique petite colonnaire.

d) la présence d'un horizon B unique, à structure prismatique à polyédrique en assemblage très compact, avec une cohésion d'ensemble très forte et sans accumulation calcaire.

1.2. LES SOLS A RECOUVERTEMENTS SUPERFICIELS DIFFÉRENCIÉS EN DEUX HORIZONS (ET GÉNÉRALEMENT PLUS ÉPAIS)

Dans ces sols, les recouvrements superficiels constituent deux horizons A (A_{11} et A_{12}). L'horizon A_{12} repose sur une ligne ou une mince couche gris blanchâtre. Ces sols, dans un concept d'évolution en place seraient appelés des solonetz solodisés. Ils se différencient des précédents par une ségrégation ferru-

gineuse bien plus intense tant en surface qu'en profondeur, une hydromorphie plus marquée dans les horizons A et au sommet du (B), un matériau constitutif argilo-sableux moins riche en montmorillonite. Ils avaient été différenciés auparavant (KALOGA, 1965) au niveau de la famille, mais dans l'étude présente, les critères de différenciation ne sont plus les mêmes et certains sols qui appartenaient à la deuxième famille, ont été classés avec les sols précédents.

Pour éviter toute confusion dans la terminologie des horizons, on appellera horizons A les pseudo-horizons lessivés non sodiques, et horizons (B) les horizons sodiques.

Le profil VY 23 donne un type de morphologie de ces sols.

Profil VY 23 :

- Situation : Sur la piste de Barguinsé à la Volta Blanche, à 12,4 km de Barguinsé, dans une plaine à recouvrement sableux, à pente très faible, inférieure à 1 %.
- Végétation : Savane très arbustive à *Bauhinia sp.*, *Acacia gourmensis*, *Combretum glutinosum*, avec *Gardenia sp.*, *Butyrospermum parkii*. Strate herbacée à base d'*Andropogon gayanus* et *Cochlospermum tinctorium*.
- Surface du sol : Quelques boursouflures dues à des turricules d'origine biologique.
- Description :
- 0- 14 cm : Gris beige à taches brun-rouille nombreuses ; faiblement humifère ; sableux faiblement argileux ; bonne porosité tubulaire due au travail de la microfaune ; présence de fines racines limitées à la zone superficielle, en-dessous, quelques grosses racines ; structure peu développée ; éclats à cohésion assez forte, par endroits nette tendance prismatique avec des faces de décollement nettes.
- 14- 27 cm : Gris blanchâtre à taches rouille ; peu humifère ; sableux un peu plus argileux que précédemment ; structure prismatique peu développée dans l'ensemble, nettement mieux développée par endroits grâce à de fines fentes de dessiccation entre des faces de décollement verticales recouvertes de sables fins blanchis ; cet horizon est séparé du suivant par un mince lit plus blanchâtre, plus sableux et à structure particulière poudreuse.
- 27-120 cm : Horizon à taches ocre et gris-clair dans la partie supérieure, devenant gris-clair dans le bas, avec des taches ocre pâle et des cristaux blancs de feldspaths qui augmentent en nombre avec la profondeur ; quelques cailloux de quartz émoussés, plus fréquents dans la partie supérieure ; des concrétions noires manganifères friables assez nombreuses ; texture argilo-sableuse à sables grossiers ; dans la partie supérieure (27-45 cm environ), structure prismatique assez bien développée avec une nette tendance columnaire et délimitée par des fentes de dessiccation verticales ; cohésion des agrégats très forte ; dans le reste de l'horizon, structure prismatique en assemblage très compact avec une cohésion d'ensemble très forte et la présence de quelques fines fentes de retrait ; quelques petits amas calcaires non durcis de couleur gris cendre dans le bas ; passe progressivement au granite en voie d'altération où dominant actuellement les éléments blancs : feldspaths et quartz.
- vers 120 cm : Granite en voie d'altération.

Interprétation morphologique :

- 0- 14 cm : A₁₁
 14- 27 cm : A₁₂
 27- 45 cm : (B)₁ structural.
 45-120 cm : (B)₂
 à 120 cm : C

Le profil se décompose en apports superficiels sableux de 27 cm d'épaisseur, recouvrant un matériau argilo-sableux provenant d'une altération de granite, paraissant remanié dans le haut et en place dans le bas avec passage progressif au granite altéré.

Le mauvais drainage se manifeste dès la surface par une ségrégation ferrugineuse qui s'intensifie dans le deuxième horizon par arrêt des eaux de drainage au-dessus du matériau halomorphe. La zone de contact entre les deux types de matériaux, soumise à un engorgement très intense, est gris blanchâtre et poudreuse.

Interprétation analytique

Les apports sableux n'ont cependant aucune caractéristique analytique d'hydromorphie (probablement parce que l'hydromorphie est très temporaire) : teneurs faibles en matière organique (0,60 et 0,40 %) à C/N faibles (11 et 9) ; pH faiblement acide (6,3 et 6,0), complexe absorbant paraissant saturé dans le premier horizon, assez bien saturé dans le deuxième horizon ($V = 75\%$ où l'abaissement du taux de saturation est probablement dû à l'intensification de l'hydromorphie).

Le matériau halomorphe marque d'après nos résultats, une relative désaturation dans sa partie supérieure (pH faiblement acide 5,8 et taux de saturation de 73 % dans le prélèvement VY 233). La proportion du sodium échangeable y reste relativement importante (11 % par rapport à la capacité d'échange et la structure colonnaire bien développée. Il est donc très probable que cette acidification, ainsi que la présence d'un lit blanchâtre au sommet de l'horizon argileux ne soient pas dues à un processus de solodisation (au sens originel du terme), mais plutôt à la stagnation ou à la circulation de l'eau à la surface du matériau argileux rendu imperméable par l'action du sodium.

Dans la partie inférieure non remaniée (prélèvement VY 234), la proportion de sodium échangeable (16 % par rapport à la capacité d'échange) est un peu plus élevée, mais le pH est nettement alcalin (8,1) et dû à une accumulation calcaire liée probablement à l'altération de la roche en place. Les caractéristiques analytiques structurales suivent le taux de sodium dans le matériau halomorphe : indice d'instabilité structurale élevé dans la partie inférieure (7,2) ; le coefficient de percolation est extrêmement faible (0,3 cm/h) dans les deux horizons.

La capacité d'échange calculée de la fraction argileuse atteint 40 mé % dans le prélèvement VY 233 et 54 mé dans le VY 234. Ces valeurs supposent une assez large représentativité de la montmorillonite dans la fraction argileuse.

Les variations morphologiques autour de ce type sont :

a) Horizon A_{11} :

Epaisseur : 10 à 24 cm.
 Couleur : Brun grisâtre, gris brunâtre, brunâtre, gris clair, taches rouille, ocre et parfois gris clair.
 Texture : — sableuse à sablo-argileuse.
 — sablo-argileuse et même argilo-sableuse.
 — caillouteuse à terre fine peu abondante sablo-argileuse.
 — essentiellement constituée de sables grossiers.

b) Horizon A_{12} :

Epaisseur : 12 à 38 cm.
 Couleur : Beige clair à beige blanchâtre ; taches rouille parfois noires au centre (présence alors de manganèse), plus rarement brun-noir (ferro-manganifères), et nombreuses.
 Texture très variable : — sablo-argileuse avec parfois de nombreux gravillons ferrugineux.

- : — argilo-sableuse à argileuse.
 - caillouteuse (cailloux de quartz avec parfois quelques gravillons ferrugineux) à terre fine peu abondante sablo-argileuse ou argilo-sableuse.
- Structure : absence de revêtements de sables fins blanchis sur les faces des agrégats.

c) Le lit blanchi qui peut être :

- essentiellement gravillonnaire ou (et) caillouteux.
- plus riche en sables grossiers.
- argilo-sableux à argileux avec une structure polyédrique moyenne et petite très bien développée (accompagne les A_{12} argilo-sableux à argileux).

d) Horizon (B) :

- Epaisseur : 43 cm à plus de 90 cm.
- Couleur : Brun-jaune, olive pâle, brun avec une ségrégation ferrugineuse moins intense (quelques taches rouille et noires) ; plus rarement gris blanchâtre à taches ocre-rouille.
- Texture : parfois sablo-argileuse.
- Structure : — polyédrique grossière en assemblage compact (cohésion d'ensemble très forte) dans le haut avec quelques faces obliques patinées striées dans le bas.
— sous-structure en plaquettes obliques en $(B)_1$.

1.3. CONCLUSION A L'ÉTUDE MORPHOLOGIQUE

1.3.1. La structure

La caractéristique structurale constante des sols halomorphes étudiés est l'assemblage très compact des éléments structuraux dans au moins un horizon.

Mais le type de structure des horizons (B) n'apparaît pas fondamentalement différent de celui des vertisols et des sols bruns eutrophes.

Si l'horizon $(B)_1$ montre fréquemment une structure colonnaire, il se différencie parfois mal cependant d'un horizon A, A (B) ou B supérieur de vertisols : structure prismatique large à grossière, parfois moyenne à petite assez bien à bien développée ; parfois même, l'horizon colonnaire a une sous-structure prismatique aplatie ou en plaquettes à bases obliques patinées, parfois aussi on trouve dans le même horizon tantôt la structure polyédrique grossière très bien développée, tantôt la structure colonnaire.

Comme on l'a déjà signalé, l'existence en $(B)_1$ d'une sous-structure en plaquettes obliques patinées et striées très bien développée s'est révélée être un caractère fréquent des Sols Halomorphes lors de l'étude pédologique de l'ensemble de la feuille à 1/200 000 de Tenkodogo dans le cadre de l'Étude Pédologique à 1/500 000 de la Haute-Volta.

Quant aux horizons $(B)_2$ si leur structure dominante reste bien le type polyédrique en assemblage compact, on y voit apparaître cependant assez fréquemment à la base des profils, les faces obliques patinées caractéristiques des vertisols, ou une structure prismatique aplatie à bases non patinées mais marquant une forte tendance vers la structure des vertisols et rappelant certains sols bruns eutrophes vertiques. On trouve parfois dans le même horizon et au même niveau horizontal la structure polyédrique en assemblage compact et la structure prismatique aplatie, la première coïncidant avec les zones très calcaires. Certains profils de transition sont des intergrades entre vertisols et sols halomorphes.

La couleur des horizons (B), surtout dans les sols à recouvrements superficiels non redifférenciés et généralement peu épais, ou d'épaisseur nulle à quasi nulle, est souvent la même que dans les vertisols lithomorphes, mais la ségrégation ferrugineuse, très exceptionnelle dans ces derniers l'est beaucoup moins dans ces sols halomorphes.

1.3.2. Processus fondamental de la différenciation des profils

a) Matériaux polyphasés

Le mécanisme du processus des apports polyphasés a été esquissé dans la première partie de cette étude (KALOGA, 1966 b) : les matériaux superficiels récents mis en place par le ruissellement sont généralement mieux triés et par conséquent appauvris en argile ; les matériaux de profondeur qui ont servi au colmatage des creux pendant la période d'arasement sont beaucoup moins triés et par conséquent non appauvris en argile. C'est ainsi que ces deux principales phases d'apports correspondent à deux périodes de sédimentation distinctes le long des rivières.

Dans ce mécanisme, « tout se passe comme si en surface, un triage par le ruissellement le long d'une pente faible avait éliminé l'argile (emportée dans les thalwegs) et les sables grossiers (restés en haut de pente) au profit des sables fins et très fins » (KALOGA, 1966 b).

Il est donc bien clair que l'appauvrissement oblique est un processus essentiel de la différenciation de l'ensemble des sols des régions étudiées. Mais, pour notre part, il s'agirait là d'un phénomène mécanique de morphogenèse inhérent au fonctionnement des glacis soudaniens, et non du processus physico-chimique de lessivage. C'est la raison pour laquelle, dans l'ensemble des sols des régions étudiées, les caractéristiques des pseudohorizons d'accumulation ne concordent pas avec celles que l'on devrait avoir s'il s'agissait d'horizons illuviaux (KALOGA, 1965, pour les sols du type ferrugineux tropical).

Cette hétérogénéité des matériaux constitutifs des sols est confirmée par :

- a.1. La présence fréquente sous un horizon $A_{1,1}$ sableux, d'un horizon $A_{1,2}$ caillouteux ou gravillonnaire.
- a.2. La présence à la base des horizons A sableux de lits horizontaux de cailloux et graviers.
- a.3. La granulométrie des sables le long des profils.

La granulométrie de la fraction sableuse des différents horizons du profil VY 76 a montré que ces derniers correspondraient chacun à une famille d'apport, les matériaux constitutifs des deux premiers horizons appartenant à des familles plus voisines.

Les figures 46 et 47 donnent la granulométrie des sables des différents horizons des profils VY 23 et VW 10 qui appartiennent tous les deux aux sols à recouvrements superficiels différenciés en deux horizons.

Dans le profil VY 23, on constate que les horizons A sableux appartiennent sensiblement à une même famille d'apport (courbes cumulatives parallèles sur la plus haute partie de leur tracé) tandis que le troisième horizon, se distingue par une diminution de la fréquence des sables fins, sensible à partir du diamètre $\alpha = 7$ ($d = 0,198$ mm), si bien que médiane, premier et troisième quartile sont déplacés vers les fractions plus grossières.

Dans le profil VW 10, les quatre horizons appartiennent à des familles de matériaux différents. Déjà sur le terrain, on pouvait discerner le premier horizon du deuxième par sa trame de sables beaucoup plus grossière (texture argilo-sableuse à sables très grossiers).

a.4. La variation à travers le profil de la proportion des minéraux lourds dans la fraction sableuse comprise entre 500 μ et 50 μ .

A cet égard, on ne peut s'attendre de même que pour la granulométrie des sables à des différences spectaculaires étant donné que les remaniements et transports ont lieu sur de faibles distances et que la roche mère des différents matériaux reste assez identique.

Nous avons déjà étudié le cas du profil VY 76 où l'on a pu observer, en relation avec une augmentation de la fréquence des sables fins, une concentration certaine de minéraux lourds en surface.

Dans le profil VG 20 (tableau ci-après), on constate une nette discontinuité dans les pourcentages pondéraux de minéraux lourds des trois horizons. Comme dans le profil précédent, il existe dans l'horizon de surface sableux, une concentration des minéraux lourds par rapport au deuxième horizon (0,42 % contre 0,25 %). Ce phénomène est dû à une nette augmentation de la proportion de minéraux peu résistants à l'altération chimique (hornblende).

MINÉRAUX LOURDS. POURCENTAGES NUMÉRIQUES

Profil VG 20

N° échantillon	Hornblende	Andalousite	Sillimanite	Disthène	Staurotide	Grenat	Epidote	Zircon	Tourmaline	Rutile	% pondéral
VG 201	15	+	+	+	1	+	72	10	1	1	0,42
VG 202	6		+		1	1	72	17	2	1	0,25
VG 203	8		+	+	1	+	78	10	2	1	0,56

Cela suppose un enrichissement superficiel en matériaux frais arrachés, au granito-gneiss affleurant. Nous avons pu observer ce processus également dans d'autres types de sols des régions étudiées.

Dans le deuxième horizon, plus pauvre en minéraux lourds et en hornblende, on constate une diminution de la proportion de hornblende et une nette augmentation de celle de zircon.

b) *La dynamique de l'eau*

Dans la deuxième partie de cette étude (KALOGA, 1966 b), il a été signalé que la différenciation des sols halomorphes par rapport aux vertisols est essentiellement liée aux conditions de drainage. Les sols halomorphes associés aux vertisols apparaissent comme des sols totalement imperméables, et dont l'humidification qui permettrait le gonflement est difficile et imparfaite, sauf dans la partie supérieure du matériau halomorphe lorsque les conditions topographiques permettent une certaine stagnation de l'eau. Dans ce cas, il y a gonflement très prononcé dans cette partie supérieure avec pression de gonflement dirigée vers le haut et apparition de la structure colonnaire. En même temps, il y a dépôt, au sommet du matériau halomorphe, de fines particules de quartz entraînées par les eaux et formation d'un lit blanchâtre poudreux.

Ces caractéristiques d'hydromorphie très prononcée peuvent induire une certaine dégradation de la montmorillonite qui se trouve ainsi éloignée de ses conditions de formation.

2. CARACTÉRISTIQUES ANALYTIQUES GÉNÉRALES

2.1. LES SOLS A RECOUVREMENTS SUPERFICIELS NON REDIFFÉRENCIÉS ET GÉNÉRALEMENT PEU ÉPAIS

2.1.1. La matière organique (fig. 29)

La matière organique est très peu abondante dans ces sols (fig. 29a). La teneur maximale est de 1,2 % dans l'ensemble des horizons superficiels (horizons A ou à défaut (B)₁ affleurant) et de 0,8 % dans plus

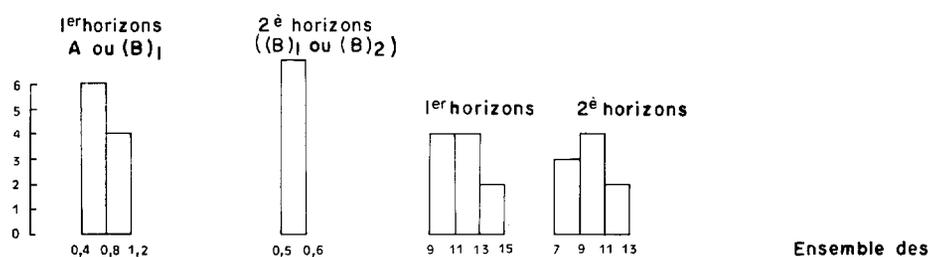


Fig. 29 a. Matière organique %

b. rapport carbone/azote

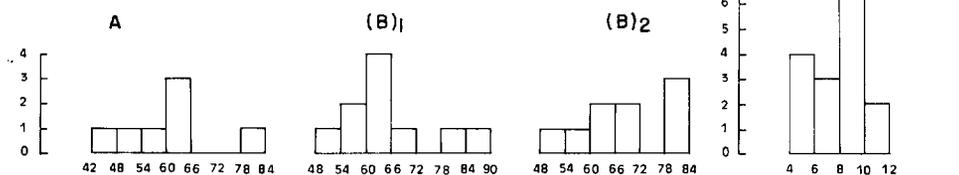


Fig. 31. a. fer libre x fer total x 100

Fig. 31. b. 100x fer libre/argile

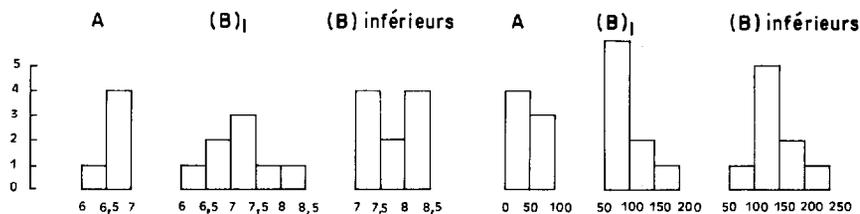


Fig. 32. pH

Fig. 33. Conductivité en micromhos

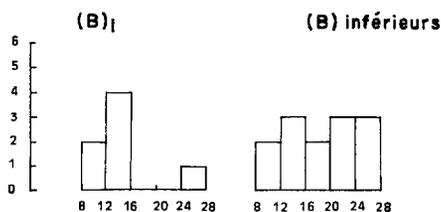


Fig. 34. rapport Na/T x 100

FIG. 29 (a, b), 31 (a, b), 32, 33, 34. — Sols halomorphes à recouvrements superficiels non redifférenciés

de 50 % de ces horizons. Elle n'est pas toujours très bien répartie en profondeur car les teneurs dans l'ensemble des deuxièmes horizons analysés [(B)₁ non affleurant ou à défaut (B)₂] sont comprises entre 0,5 et 0,6 %. La matière organique est du type bien décomposé : le rapport C/N (fig. 29b) est compris entre 10 et 11 dans la très grande majorité des horizons superficiels.

2.1.2. La composition granulométrique (fig. 30)

Les horizons (B) apparaissent souvent franchement argileux à l'appréciation sur le terrain, à cause de la proportion élevée de montmorillonite et de la dominance fréquente des sables fins sur les sables grossiers. Au point de vue analytique, ils se regroupent dans la classe argilo-sableuse avec quelques échantillons seulement dans la classe argileuse.

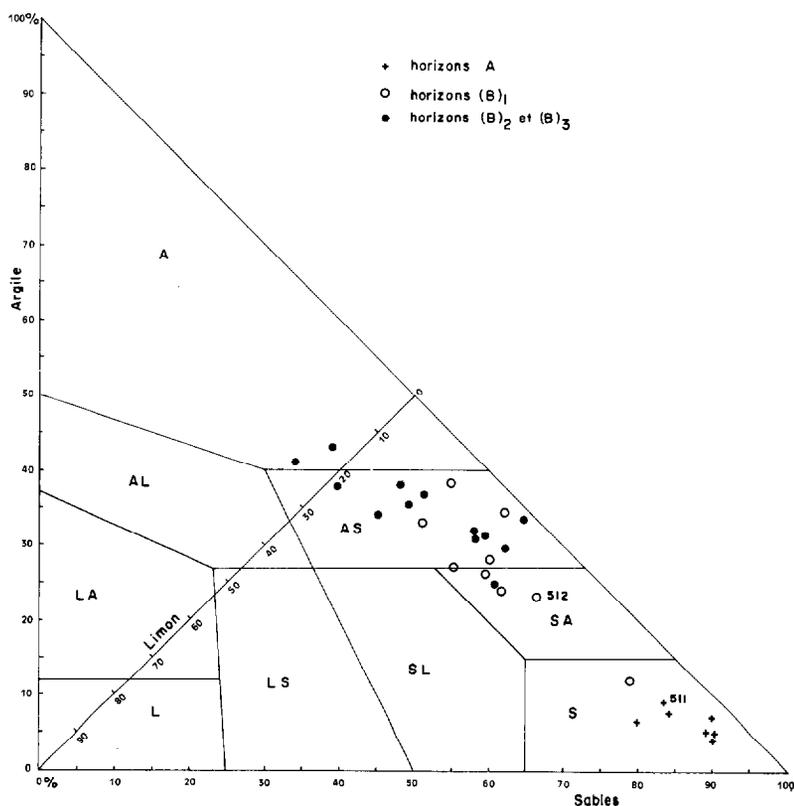


FIG. 30. — Granulométrie des sols halomorphes

Les horizons A se regroupent pour la plupart dans la classe sableuse. D'une manière constante, l'horizon (B)₁ ne peut jamais être considéré dans ces sols comme un B textural, son taux d'argile étant toujours inférieur ou égal à celui du (B)₂ et éventuellement du (B)₃. Par ailleurs, comme on peut le constater sur le triangle des textures (fig. 30), les teneurs en limons (limons fins 2-20 μ) sont faibles dans les horizons A (de l'ordre de 0 à 10 %), tandis qu'elles augmentent très nettement dans les horizons (B)₁ et (B)₂ où elles sont comprises approximativement pour la grosse majorité des échantillons analysés, entre 10 et 22 %.

2.1.3. La dynamique du fer (fig. 31)

Le rapport fer libre sur fer total est encore assez élevé dans l'ensemble (fig. 31a) mais un peu moins que dans les vertisols et les sols bruns eutrophes vertiques : la fréquence maximum est décalée vers des valeurs plus faibles (60 à 66 % pour ces sols halomorphes, 66 à 72 % pour les vertisols, et 78 à 84 % pour les sols bruns eutrophes vertiques).

Le rapport fer libre sur argile (fig. 31b) est lui aussi assez élevé et se rapproche de celui des vertisols, mais la fréquence maximale est dans la classe 8-10 % au lieu de 10 à 12 % comme dans les vertisols ; par ailleurs, les valeurs supérieures à 12 % disparaissent dans les sols halomorphes.

Dans l'ensemble, on peut dire qu'il y a dans ces sols halomorphes, un abaissement du rapport fer libre sur fer total et du rapport fer libre sur argile par rapport aux vertisols et aux sols bruns eutrophes vertiques. On y observe par ailleurs une fréquence plus grande de la ségrégation ferrugineuse.

La fraction argileuse des sols halomorphes ayant une composition minéralogique assez identique à celle des vertisols (forte proportion de montmorillonite), les conclusions à la dynamique du fer dans les vertisols leur sont en principe applicables. Le fer libre peut donc provenir en grande partie du réseau des argiles qui pourraient être de la nontronite, ou des nontronites si on considère qu'il en existe une gamme selon la richesse en fer (Ross, 1958). Il se pose alors la question de savoir si la fréquence plus élevée de la ségrégation ferrugineuse est liée à la présence d'une nontronite moins ferrifère ou (et) à des conditions d'oxydo-réduction plus efficaces en ce qui concerne cette ségrégation, particulièrement à des conditions de réduction beaucoup plus prononcées, comme c'est le cas dans les vertisols hydromorphes par rapport aux vertisols lithomorphes. Mais dans les vertisols hydromorphes, le renforcement des conditions réductrices est dû à l'hydromorphie, tandis que dans les sols halomorphes, il serait dû plutôt à la dispersion plus accusée des argiles. Cette dispersion est due en particulier au sodium.

2.1.4. Le complexe absorbant

2.1.4.1. MINÉRALOGIE DU COMPLEXE ABSORBANT MINÉRAL

Elle est la même que dans les vertisols. La montmorillonite domine largement dans la fraction argileuse. Le tableau ci-dessous donne la composition de la fraction argileuse des échantillons représentatifs, déterminée par analyse aux RX au Laboratoire de Géologie et de Paléontologie de l'Université de Strasbourg.

Profils	Prélèvements	Montmorillonite	Feuillets gonflants	Illite	Kaolinite
VG 20	VG 203	60		20	20
VN 36	VN 363	40		40	20
VN 51	VN 512	—	20	50	30
VN 70	VN 701	80		Traces	20
	VN 702	80		Traces	20
	VN 703	80		Traces	20
VO 3	VO 32	50		10	40
	VO 33	70		10	20
VN 72	VN 723	40		30	30
VY 76	VY 762	60			40
	VY 763	90		Traces	10
HA 14	HA 143	70		10	20
VY 12	VY 122	30		50	20
VN 53	VN 531	60		10	30
	VN 532	90		Traces	20

Les argiles gonflantes, essentiellement du groupe montmorillonite, représentent dans les horizons B, 60 à 90 % de la fraction argileuse, cette proportion s'abaisse à 40 % dans le prélèvement VN 723 et à 30 % dans le VY 122, tandis que dans le profil VN 51, qui fait exception, la montmorillonite, mal définie, se rapporte à un édifice gonflant indéterminé qui ne représente que 20 % de la fraction argileuse, mais les illites, largement dominants (50 %) maintiennent la proportion d'argiles du type 2/1 à 70 %. La kaolinite dans les horizons B ne représente que 10 à 30 % de la fraction argileuse.

On constate très souvent une décroissance de la proportion de montmorillonite de la surface vers la profondeur dans le matériau halomorphe, mais il semble prématuré d'en déduire une dégradation de la montmorillonite dans un contexte de solidisation. Ce phénomène se retrouve en effet sur tous les profils de Vertisols ayant fait l'objet de déterminations minéralogiques sur la fraction argileuse. Par ailleurs, il faut probablement tenir compte des processus de remaniements qui ont pu provoquer des mélanges de matériaux d'origines diverses dans la partie supérieure des profils. On peut aussi concevoir que la partie supérieure s'éloignant de plus en plus des conditions de formation de la montmorillonite (milieu plus aéré, mieux drainé), il s'y produise une certaine dégradation de cette dernière. Dans les sols halomorphes des bassins versants de Voltas Blanche et Rouge, cette éventuelle dégradation pourrait être due à l'acidité consécutive à l'hydromorphie très prononcée qui affecte le sommet des horizons (B).

2.1.4.2. CHIMISME DU COMPLEXE ABSORBANT

La composition minéralogique de la fraction argileuse identique à celle des vertisols, la relative abondance de cette fraction argileuse (cependant moindre dans l'ensemble que dans les vertisols) en font des sols à capacités d'échange (de la terre fine et de la fraction argileuse) assez identiques à celles des vertisols. Les différences essentielles (mais non spécifiques) avec ces derniers concernent le pH, la proportion de sodium échangeable, et l'accumulation calcaire.

a) *Le pH* (fig. 32) :

D'une façon générale, le pH est plus alcalin que dans l'ensemble des vertisols. Dans les horizons (B)₁, il varie de 6,0 à 8,5 avec prédominance des valeurs comprises entre 7,0 et 8,5. Dans les horizons (B)₂, il est constamment compris entre 7,0 et 8,5 avec prédominance des valeurs supérieures à 7,5 et une assez bonne proportion de valeurs comprises entre 8 et 8,5. Il s'agit là de pH mesurés sur pâte de sol, Dans les horizons (B)₂, les pH mesurés sur solution de sol étaient constamment alcalins et de l'ordre de 8,5 à 8,8.

Les horizons A sont le plus souvent très proches de la neutralité (sur les cinq échantillons d'horizons A analysés, on a trois pH de 6,9, un de 6,6 et un seulement de 6,1).

b) *Le sodium échangeable* :

En fait, c'est le sodium total qui a été déterminé. Mais il s'agit de sols à très faibles teneurs en sels solubles : conductivité le plus souvent comprise entre 50 et 150 $\mu\Omega$ et exceptionnellement comprise entre 200 et 250 $\mu\Omega$ (fig. 33). La teneur en sels solubles est donc le plus souvent de l'ordre de 0,5 à 1,5 mé et plus rarement de 2 à 2,5 mé pour 100 g de terre. Le sodium soluble peut donc être considéré comme pratiquement négligeable à l'égard du total de sodium fréquemment de l'ordre de 1,5 à 4 mé pour 100 g, surtout quand on pense qu'il y a dans ce cas, une hydrolyse du sodium échangeable lors des mesures de conductivité. On considérera donc le sodium échangeable comme équivalent à peu de chose près au total sodium.

Par ailleurs, des essais de lavage à l'alcool avant extraction des bases échangeables ayant été faits sur un échantillon de Sol Halomorphes, on n'a pas constaté de variation de la teneur en sodium échangeable par rapport à l'échantillon non lavé.

Le rapport du sodium, à la capacité d'échange Na/T (fig. 34) a le plus souvent des valeurs moyennes dans les horizons (B)₁ (12 à 16 %), parfois faibles (de l'ordre de 10 à 12 %), rarement très élevées (plus de 25 %).

Dans les horizons (B)₂ on trouve aussi des valeurs de Na/T faibles (de l'ordre de 8 à 12 %), des valeurs moyennes (12 à 16 %), mais surtout une bonne proportion de valeurs assez élevées à élevées (16 à 28 %).

Les deux horizons C analysés accusent des valeurs de Na/T élevées et très élevées (40 % et 23 %), surtout par rapport aux horizons (B)₂ respectifs (28 % et 8,6 %). Il semble donc que le milieu générateur soit très riche en sodium, ce qui expliquerait que cet élément réputé en fait pour être mal retenu par le complexe absorbant soit représenté aussi largement dans ce dernier.

Ces proportions de sodium ne sont cependant pas spécifiques des sols halomorphes à l'égard des vertisols. C'est ainsi que certains vertisols typiques ont des valeurs de Na/T atteignant 28 % dans l'horizon (B) et 16 % dans l'horizon A, et que certains vertisols de transition vers les sols halomorphes présentent des valeurs extrêmement élevées de Na/T (40 % en profondeur et 26 % en surface) en même temps que des teneurs absolues en sodium très élevées (10 mé pour 100 g en profondeur pour une conductivité de l'ordre de 200 $\mu\Omega$ seulement).

Ces résultats, un peu étonnants au premier abord, sont cependant analogues à ceux obtenus en Ghezira (Soudan) où les rendements en coton sont meilleurs sur les Vertisols quand ces derniers contiennent une proportion relativement élevée de sodium échangeable*.

c) *L'accumulation calcaire :*

C'est une caractéristique constante des horizons (B)₂ de ces sols.

Elle se produit sous forme de petits amas calcaires gris-cendre (parfois localisés dans de petites mottes très bien individualisées en forme d'œuf de pigeon ou même d'œuf de poule) ou (et) de nodules et concrétions calcaires. Cette accumulation est parfois très intense. L'élimination des nodules et concrétions calcaires par passage au tamis enlève sa signification au calcaire total dosé sur la terre fine. Certains horizons (B)₂ sont littéralement bourrés de calcaire.

L'accumulation calcaire est beaucoup moins fréquente et beaucoup plus faible dans les horizons (B)₁.

2.1.5. Caractéristiques structurales

2.1.5.1. TESTS HENIN : INDICE D'INSTABILITÉ STRUCTURALE ET COEFFICIENT DE PERCOLATION (fig. 35)

Les horizons (B)₂ ont presque tous un comportement de terre sodique : indice d'instabilité structurale très élevé (de l'ordre de 8 à 10 ou plus) et coefficient de percolation nul. Ces caractéristiques traduisent une très forte dispersion des argiles. Les horizons (B)₁ ont presque tous un coefficient de percolation nul ou négligeable (0,1 à 0,3 cm/h), mais l'indice d'instabilité structurale est moins élevé que dans les horizons (B)₂, de l'ordre de 3 à 5 (valeurs encore assez élevées) s'abaissant parfois à 1,6. La dispersion des argiles est donc moins accusée dans les horizons (B)₁ que dans les horizons (B)₂.

Ces caractéristiques analytiques suivent dans une certaine mesure l'intensité de l'halomorphie : les sols à halomorphie plus faible (rapport Na/Capacité d'échange de l'ordre de 9 à 12) accusent une dispersion des argiles beaucoup moins forte : coefficient de percolation de l'ordre de 1 à 1,4 cm/h, mais indice d'instabilité structurale de l'ordre de 3 à 4.

Les horizons A ont une stabilité structurale médiocre, mais bien meilleure que ce que l'on pourrait attendre d'horizons lessivés de solonetz.

2.1.5.2. MACROPOROSITÉ DES MOTTES (fig. 36)

Les horizons (B)₁ se regroupent pour la plupart dans la zone à asphyxie partielle, c'est-à-dire à macroporosité assez faible. Les horizons (B)₁ situés dans la zone sans asphyxie sont des horizons affleurants.

* Communication orale de G. AUBERT.

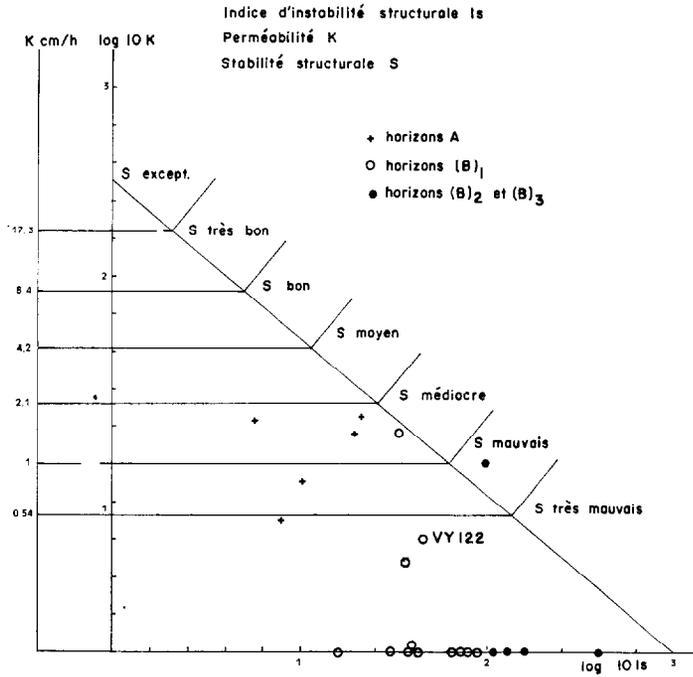


FIG. 35. — Sols halomorphes. Stabilité structurale

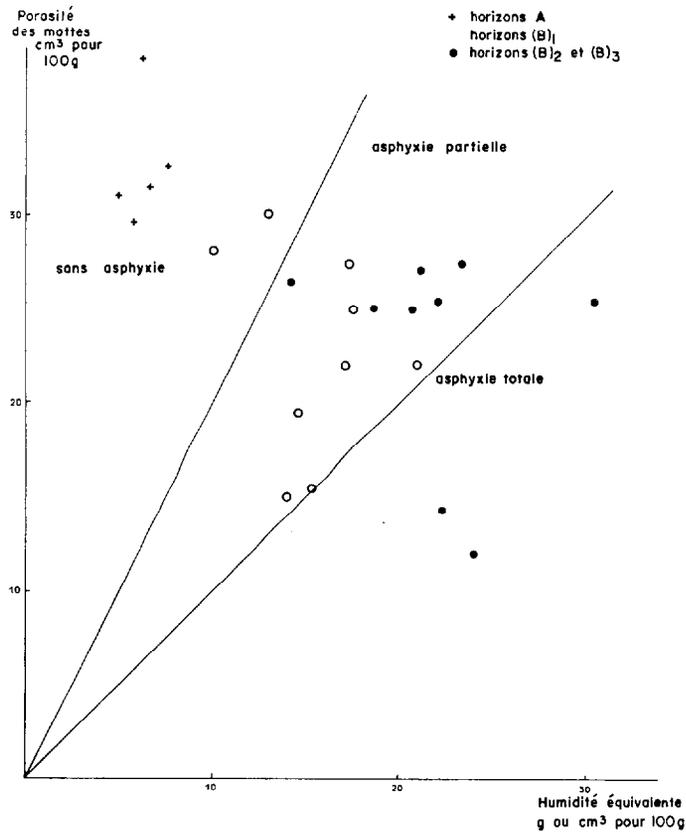


FIG. 36. — Sols halomorphes. Macroporosité des mottes

Les horizons (B)₂ et (B)₃ se partagent entre les zones à asphyxie partielle et à asphyxie totale : là encore, les horizons (B)₁ accusent des caractéristiques meilleures que les horizons (B)₂.

Les horizons A se situent dans la zone sans asphyxie.

2.2. LES SOLS A RECOUVERTEMENTS SUPERFICIELS RELATIVEMENT PLUS ÉPAIS ET DIFFÉRENCIÉS EN DEUX HORIZONS

2.2.1. La matière organique (fig. 37)

La matière organique est peu abondante dans ces sols. Les teneurs maximales en matière organique dans les horizons A₁₁ ne dépassent pas 1,6 %, et on observe une certaine proportion d'horizons A₁₁ pauvres en matière organique (teneurs de l'ordre de 0,6 à 0,7 %). Cette matière organique n'est pas très

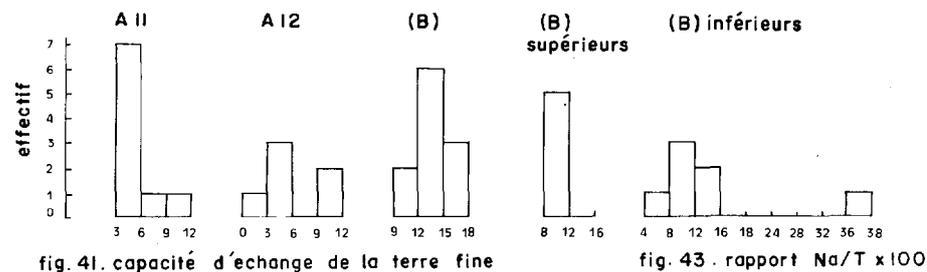
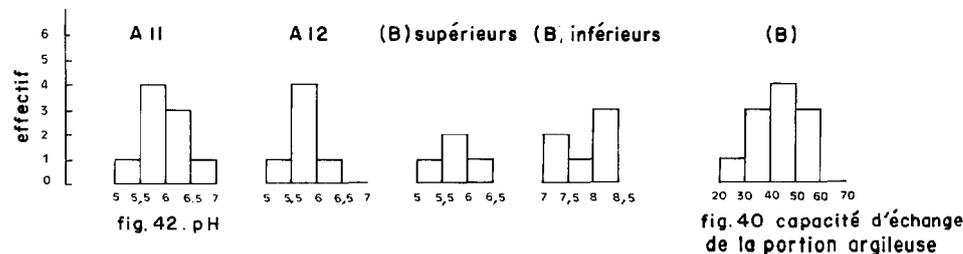
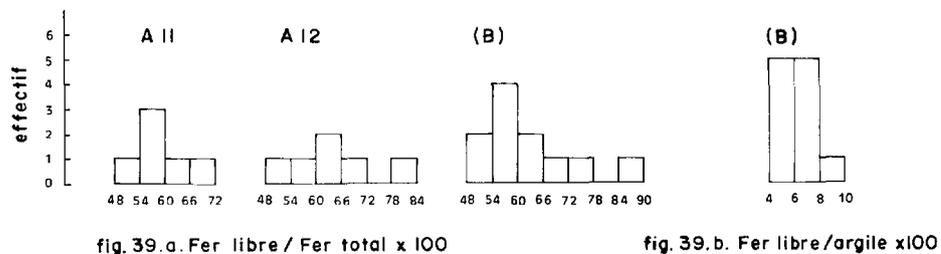
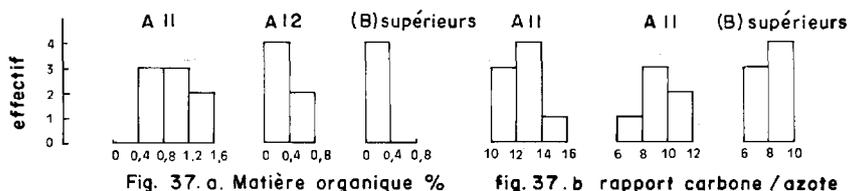


FIG. 37 (a, b), 39 (a, b), 40, 41, 42. — Sols halomorphes à recouvrements superficiels relativement plus épais et différenciés en deux horizons.

bien répartie en profondeur : les teneurs des horizons A_{12} analysés ne dépassent pas 0,8 % avec une prédominance des valeurs inférieures ou égales à 0,4 %. Mais ces teneurs se maintiennent dans les horizons (B) (fig. 37a).

Malgré sa faible proportion, la matière organique marque une tendance vers le type moins bien décomposé en A_{11} : prédominance des rapports C/N compris entre 12 et 14 (fig. 37b).

2.2.2. La composition granulométrique (fig. 38)

Les horizons A_{11} se groupent principalement dans la classe sableuse avec quelques échantillons dans la classe sablo-argileuse. Les horizons A_{12} analysés se partagent entre les classes sableuse, sablo-argileuse, argilo-sableuse et argileuse avec une prédominance des échantillons sableux. Aux erreurs d'analyse près, ils ont la même teneur en argile que dans les horizons A_{11} ou sont plus argileux que ces derniers. On voit sur la figure 38 que les teneurs en limons (limons fins $2-20 \mu$) sont à peu près équivalentes en A_{11} , A_{12} et (B). En effet, on constate très rarement des teneurs en limons fins plus élevées dans les horizons A que dans les horizons (B) et lorsqu'on le constate il s'agit de différences non significatives de l'ordre de 1 %.

Les horizons (B) se partagent entre les classes argilo-sableuse et argileuse.

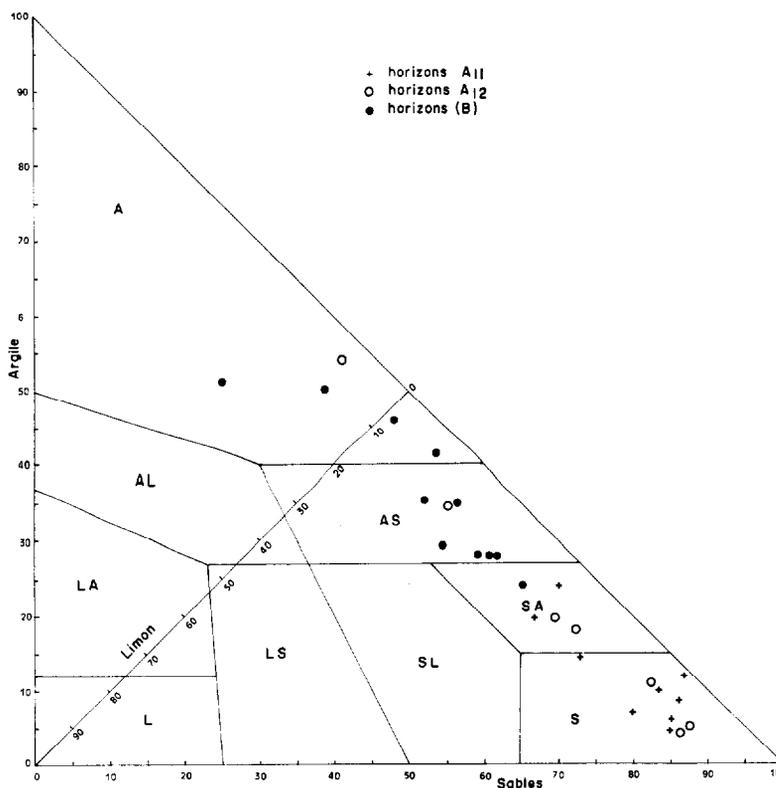


FIG. 38. — Granulométrie des sols halomorphes

Dans la plupart des profils, l'examen du rapport sables fins (en fait 20-200 μ) sur sables grossiers (qui ne donne pourtant qu'un aspect amorti des variations granulométriques des sables) montre, parfois très nettement, deux familles de matériaux, l'une constituée par les horizons A non halomorphes et l'autre par les horizons (B) halomorphes. Il y a souvent un abaissement du rapport sables fins sur sables grossiers en profondeur, parfois cependant, on constate le phénomène inverse. Ces différences sont probablement le résultat de processus d'apports polyphasés.

2.2.3. Dynamique du fer (fig. 39)

Dans l'ensemble des horizons, le rapport fer libre sur fer total s'abaisse par rapport aux sols halomorphes précédents : on observe une plus forte prépondérance des valeurs inférieures à 60 % (fig. 39a). Par ailleurs, on constate aussi un très fort abaissement du rapport fer libre sur argile dans les horizons (B) : ce rapport dépasse rarement 8 % (fig. 39b).

Les quantités de fer sont donc moindres que dans les sols halomorphes précédents et surtout beaucoup moindres que dans les vertisols et les sols bruns eutrophes vertiques. Ces caractéristiques coïncident avec des conditions d'asphyxie très poussée et, semble-t-il, une forte baisse de la proportion de montmorillonite par rapport aux vertisols et aux sols halomorphes précédents.

2.2.4. Le complexe absorbant

2.2.4.1. MINÉRALOGIE DU COMPLEXE ABSORBANT MINÉRAL

Elle se rapprocherait plutôt de celle des sols bruns eutrophes vertiques que de celle des Vertisols par l'abaissement très net de la proportion de montmorillonite, cette dernière étant même parfois remplacée dans les minéraux 2/1 par des illites. Nous possédons peu d'analyses d'argile concernant ces sols. Les quatre échantillons d'horizons (B) analysés accusent :

- 60 % de kaolinite, 40 % d'illites et des traces de montmorillonite, pour le prélèvement VL 173 (Profil VL 17).
- 80 % de kaolinite, 20 % de montmorillonite pour le prélèvement VRY 124 (Profil VRY 12).
- 100 % de kaolinite, des traces d'illites et de montmorillonite pour les prélèvements VRZ 13 et VRZ 15 (Profil VRZ 1).

Dans ces deux derniers sols, il semble cependant qu'illites et montmorillonite doivent être en fait mieux représentées dans l'ensemble de la terre fine, surtout dans le VRZ 15 où la capacité d'échange (calculée) de la fraction argileuse atteint 32 mé pour 100 g.

Du reste, le profil VRZ 1 semble représenter un cas rare dans ces sols. En effet, VRZ 13 et VRZ 15 présentent les capacités d'échange (calculées) de fraction argileuse les plus faibles, respectivement 25 et 32 mé pour 100 g. Dans les autres horizons (B), la capacité (calculée) de la fraction argileuse oscille pratiquement entre 38 mé pour 100 g (dans le prélèvement VL 173 accusant 60 % de kaolinite et 40 % d'illites) et 56 mé pour 100 g (fig. 40), avec 45 mé pour le VRY 124 (80 % de kaolinite et 20 % de montmorillonite). On peut donc dire que les argiles du type 2/1 sont encore moyennement représentée dans la fraction argileuse et que ces sols appartiennent encore pour la plupart à un complexe d'altération générateur de phylites 2/1.

2.2.4.2. CHIMISME DU COMPLEXE ABSORBANT

a. Capacité d'échange de la terre fine

L'abaissement de la proportion de montmorillonite dans la fraction argileuse se traduit par une nette diminution de la capacité d'échange de la terre fine qui oscille ici pour les horizons (B), entre 9 et 18 mé pour 100 g avec fréquence maximale dans la classe 12 à 15 mé pour 100 g (fig. 41).

Dans les horizons A_{11} et A_{12} , la capacité d'échange de la terre fine oscille entre 2 et 12 mé pour 100 g avec fréquence maximale dans la classe 3 à 6 mé pour 100 g. Ce sont des valeurs relativement bonnes si on pense à la prépondérance des horizons sableux et à la faible abondance de la matière organique.

b. pH (fig. 42)

Les horizons A sont moyennement et faiblement acides (pH le plus souvent compris entre 5,5 et 6,5).

Sur la figure 42, les horizons A_{12} semblent accuser un pH plus acide dans l'ensemble que les horizons A_{11} ; en fait, ils ont un pH parfois plus acide, parfois équivalent, parfois (mais rarement) plus élevé que celui des horizons A_{11} correspondants. On ne peut donc pas établir un sens de variation du pH du A_{11} par rapport à celui du A_{12} .

La partie supérieure des horizons (B) accuse très souvent un pH moyennement acide (de l'ordre de 5,4 à 5,8), plus faible ou au plus égal à celui du A_{12} correspondant. La base des horizons (B) accuse toujours un pH franchement alcalin (de l'ordre de 8,1-8,2) ou neutre à faiblement alcalin (7,1 à 7,6). Parfois, cependant, la partie supérieure du (B) a un pH neutre à faiblement alcalin, à peine plus faible que celui de la partie inférieure.

Dans certains profils (VW 12, par exemple) on constate très nettement que l'acidification des horizons A ne correspond pas à un phénomène de solodisation, puisque le A_{12} franchement acide (pH 5,1), non halomorphe, est très argileux (52 % d'argile alors que le (B) sous-jacent en accuse 48 %) et montre une accumulation ferro-manganifère sous forme de concrétions, avec une structure polyédrique moyenne et petite très bien développée.

En fait, cette acidification doit être vraisemblablement due essentiellement à l'hydromorphie très intense qui affecte la partie supérieure des horizons (B). Elle peut avoir pour conséquence une certaine dégradation de la montmorillonite parce que cette dernière se trouve ainsi dans des conditions éloignées de celles de son milieu générateur et par ailleurs, sous une forme très dispersée. Ainsi, l'intense hydromorphie essentiellement limitée à la partie supérieure du matériau halomorphe et consécutive à l'imperméabilité de ce dernier, pourrait être un processus génétique déterminant de ces sols.

c. Le sodium échangeable

Comme pour les sols précédents; les teneurs en sodium échangeable sont considérées comme égales à peu de choses près aux teneurs en total sodium échangeable + sodium soluble.

Dans la partie supérieure des horizons (B), le rapport du sodium à la capacité d'échange n'atteint dans aucun des profils analysés les 12 % fixés par AUBERT (1963), il est même souvent proche de la limite inférieure critique de 7 % donnée par GREENE (1948) et de l'ordre de 8 à 8,5 (fig. 43).

Dans la partie inférieure des horizons (B), ce rapport s'élève mais tout en restant encore souvent inférieur à 12 % (de l'ordre de 10-11 %). Il atteint 16 % dans certains profils, mais ne dépasse ce chiffre que dans un seul cas.

Ce sont donc dans l'ensemble des sols à halomorphie faible ou très faible, ce qui dans la classification russe de ANTIPOV-KARATAEV donnée par VILLENSKII (1957) les ferait considérer seulement comme des sols moyennement solonetziques.

Les quantités absolues de sodium sont le plus souvent faibles, de l'ordre de 1,2 à 1,4 mé pour 100 g dans la partie supérieure du (B) et de l'ordre de 1,2 à 2,5 mé dans la partie inférieure du (B) atteignant cependant 3 mé et plus dans certains profils.

d. L'accumulation calcaire

On retrouve très souvent, mais non constamment, dans la partie inférieure des horizons (B) l'accumulation calcaire, parfois abondante, sous forme d'amas ou (et) de nodules.

2.2.5. Caractéristiques structurales

2.2.5.1. TEST HENIN : INDICE D'INSTABILITÉ STRUCTURALE ET COEFFICIENT DE PERCOLATION (fig. 44)

Les horizons A_{11} se partagent entre les classes à stabilité structurale moyenne et médiocre, les horizons A_{12} plus engorgés se partagent entre les classes à stabilité structurale médiocre et mauvaise.

La partie supérieure des horizons (B) n'a pas toujours le comportement typique de terre sodique, la stabilité structurale n'y est souvent que médiocre comme en A_{11} et A_{12} . Par contre, la partie inférieure des horizons B accuse toujours une stabilité structurale très mauvaise : coefficient de percolation nul ou très faible indice d'instabilité structurale élevée (de l'ordre de 4 à 9).

La partie supérieure des horizons (B), bien qu'ayant les caractères morphologiques d'un certain type d'horizon sodique, n'a pas les caractéristiques analytiques d'une terre sodique.

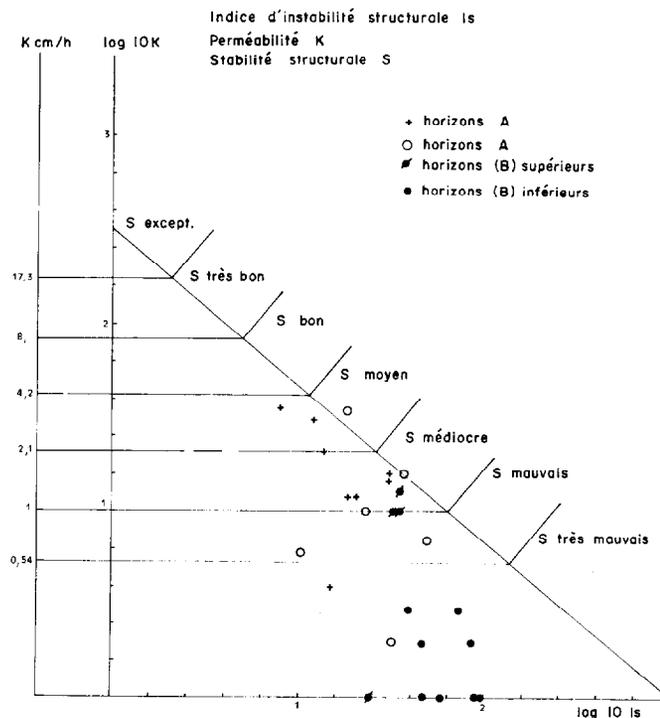


FIG. 44. — Sols halomorphes. Stabilité structurale

2.2.5.2. MACROPOROSITÉ DES MOTTES

Les horizons A_{11} et A_{12} accusent une bonne macroporosité des mottes (zone sans asphyxie). Les quelques horizons (B) analysés se situent dans la zone à asphyxia partielle.

3. DISCUSSION DE LA CLASSIFICATION

3.1. LA CONCEPTION CLASSIQUE DU SOLONETZ (ET DU SOLOD) : COMPARAISON AVEC LES SOLS HALOMORPHES DES BASSINS VERSANTS DES VOLTAS BLANCHE ET ROUGE

3.1.1. La conception classique du solonetz (et du solod) : discussion

VILENSKII (1957) définit les solonetz comme des sols contenant du sodium et caractérisés par une structure particulière dans trois horizons bien différenciés :

— l'horizon supérieur *A*, gris ; peu cohérent ; à structure feuilletée ou stratifiée ; épais d'environ 0 à 25 cm ou plus...

— l'horizon B_1 , généralement bien différencié du *A* ; chatain foncé ; épais de 10 à 15 cm ; à structure bien définie, colonnaire, parfois motteuse ou prismatique.

— l'horizon B_2 , de transition, reposant généralement sous l'horizon colonnaire ou prismatique et contenant parfois des sels solubles.

— l'horizon *C*, salé ; contenant en plus des amas et concrétions calcaires à une certaine profondeur, des cristaux, des veines et des amas de sels solubles.

Selon la théorie classique (GEDROITS, 1926 et 1928, cité par VILENSKII, 1957), les solonetz représentent le premier stade de l'évolution des sols salins par lessivage des sels solubles, le stade final étant le solod. Le solonetz solodisé représente un stade intermédiaire qui, selon HALLSWORTH (1964), est à peine mentionné dans la littérature.

Cette évolution des sols salins vers les solonetz se décomposerait en trois phases :

1. Déplacement des sels solubles.
2. Formation de soude par hydrolyse du complexe absorbant et déplacement du sodium échangeable.
3. Dispersion et entraînement vers le bas des particules colloïdales avec formation d'un horizon illuvial compact.

La source de sodium dans le solonetz serait les sels neutres (chlorures et sulfates) accumulés dans les solontchaks, un échange de cations se produisant entre le complexe absorbant et la solution du sol. Le stade solontchak ne serait pas indispensable si la source de sodium n'est pas le chlorure ou le sulfate, mais le carbonate de soude.

Avec l'apparition du carbonate de soude, la réaction du sol devient alcaline et les particules colloïdales organiques et minérales du sol se transforment en une solution colloïdale. Il se produit une décomposition des particules d'aluminosilicates finement dispersées en composés simples (acide silicique et

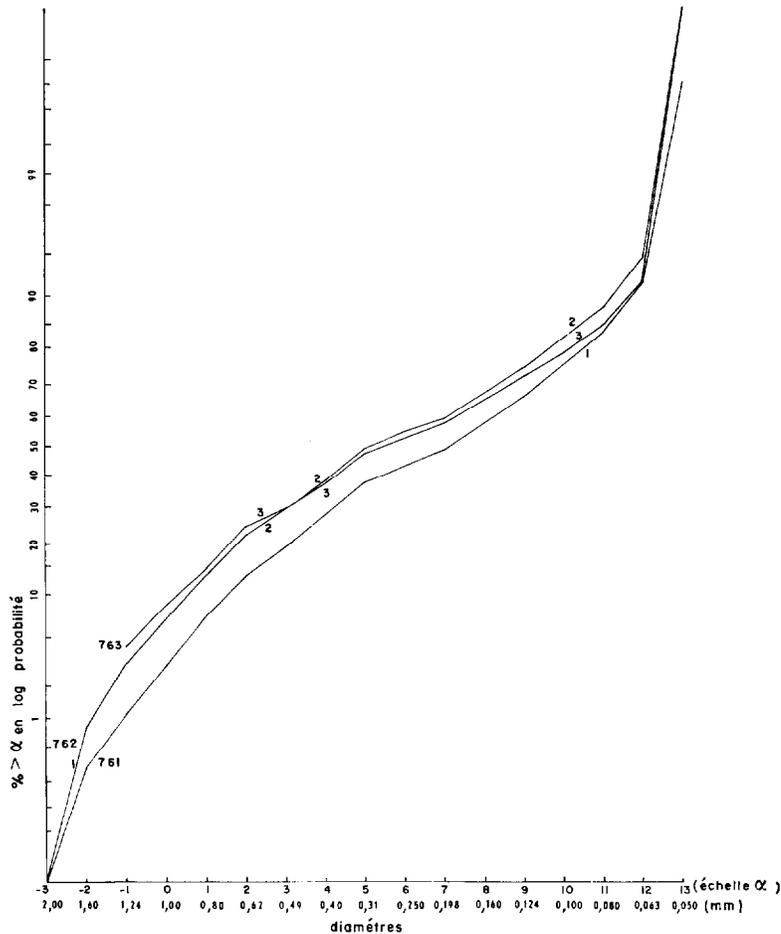


FIG. 45. — Profil VY 76 - granulométrie des sables, courbe cumulative en log de probabilité

sesquioxydes), ainsi que la dispersion de la matière organique, la peptisation et la migration des colloïdes dans l'horizon sous-jacent où ils précipitent formant une couche compacte à réaction alcaline ; la silice libérée reste dans l'horizon supérieur A, et, lors du développement du processus s'accumule sous forme de silice amorphe (enrichissement en particules poudreuses) : c'est le processus de solodisation. Il se produirait dans des conditions permettant une longue rétention de l'eau en surface grâce à l'imperméabilité de l'horizon colonnaire B₁, et s'accompagnerait fréquemment de la formation de tourbières ou de sols semi-tourbeux : la solodisation ressemblerait beaucoup à la podzolisation dont elle ne se distinguerait principalement, selon GEDROITS (1926) que par l'accumulation dans les solods d'une silice amorphe facilement soluble dans une solution de KOH à 5 %.

Dans le solod, il y a lessivage des bases et leur remplacement par l'ion H⁺, d'où une destruction de la structure colonnaire initiale (du solonetz) dont on peut retrouver cependant des traces dans l'horizon solodisé et dans l'horizon illuvial sous-jacent.

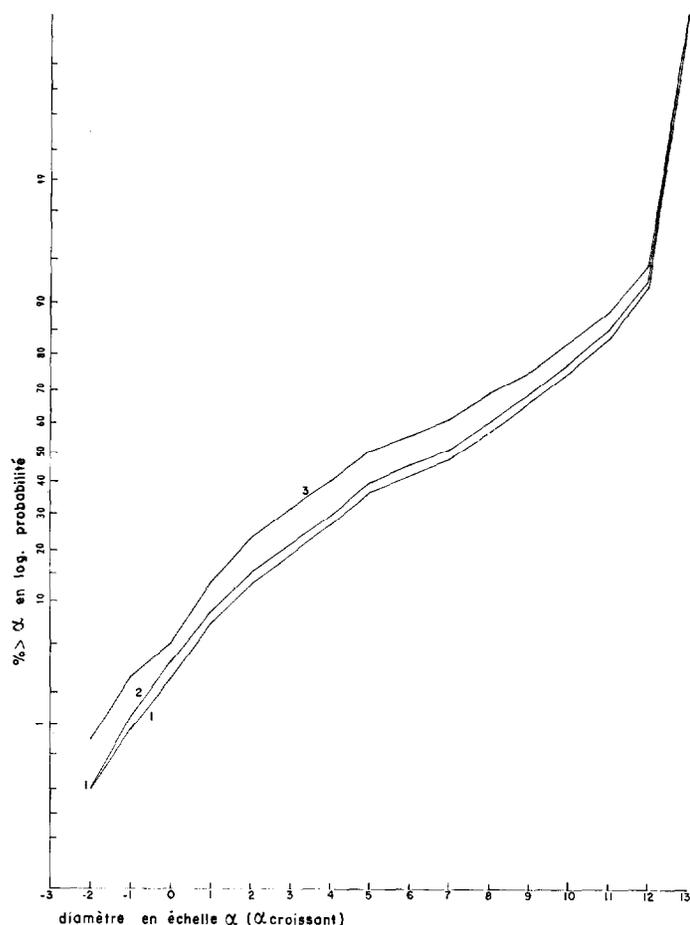


FIG. 46. — Profil VY 23 - granulométrie des sables, courbes cumulatives en log de probabilité

Ces processus pédogénétiques apparaissent donc comme liés essentiellement à la présence de soude et à une forte alcalinisation du milieu supposant des teneurs élevées en sodium échangeable. C'est pour cette raison que la classification russe d'ANTIPOV-KARATAEV (1953) citée par VILENSKII (1957), considère comme solonetz les sols accusant un rapport Na/S (sodium échangeable sur somme des cations métalliques échangeables) supérieur à 20%. En dessous de cette proportion, les russes distinguent des sols solonetziques (Na/S = 10 à 20 %), et dans lesquels on peut observer seulement un certain lessivage en A et une certaine compacité en B.

GREENE (1948), admet avec les auteurs américains que les sols ne se dégraderaient qu'au-delà d'un rapport Na/S de 15 %, bien qu'il considère que le sodium représente un danger pour la structure lorsque le rapport Na/S dépasse 7,5 %.

SIGMOND (DE - 1938) estime que l'effet dispersant du sodium devient appréciable lorsque le rapport Na/S atteint 10 à 15 %.

JANZEN et MOSS (1956), trouvent au Saskatchewan que la valeur significative du rapport Na/S pour la caractérisation des solonetz solodisés est de l'ordre de 10 %.

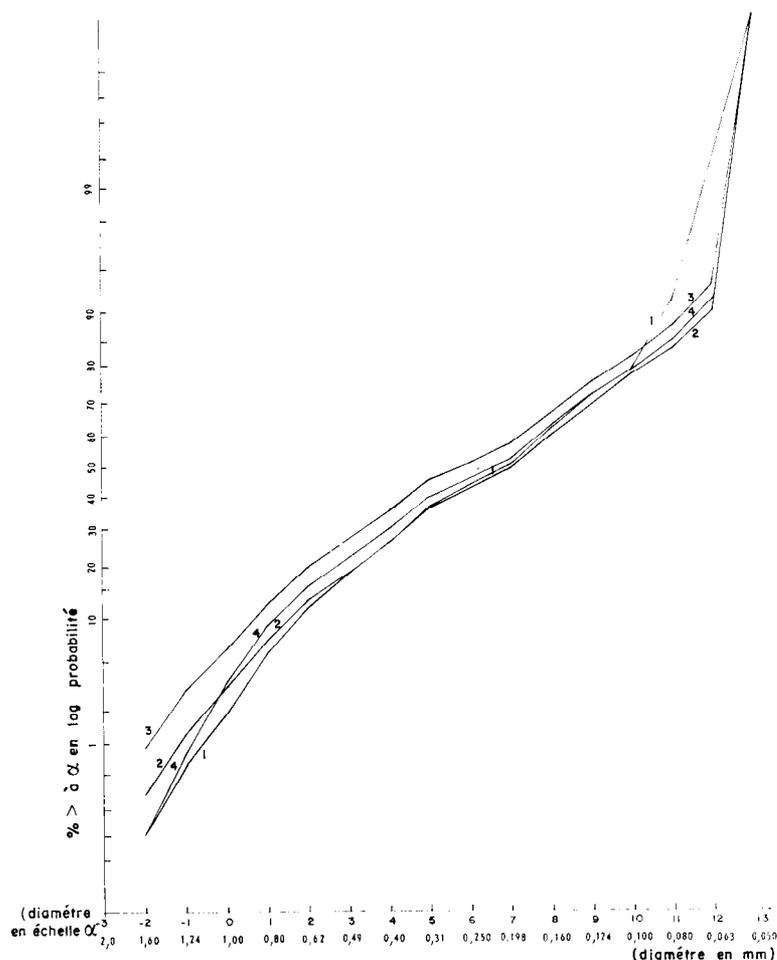


FIG. 47. — Profil VW 10 granulométrie des sables, courbes cumulatives en log probabilité

Dans la conception russe qui est la conception classique, le solonetz et le solod correspondent à une morphologie bien typée et aussi à des caractéristiques physico-chimiques bien définies du complexe absorbant expliquant cette morphologie et le processus pédogénétique qui en est la cause.

Mais par la suite, il s'avéra que ces caractères morphologiques n'étaient pas toujours en relation avec les caractères physico-chimiques du complexe absorbant initialement définis. Le problème s'est donc posé de savoir si les sols solonetziques devaient être définis par des caractéristiques morphologiques ou par des caractéristiques analytiques (JANZEN et MOSS, 1956). C'est ainsi que JANZEN et MOSS (1956) décrivent des sols solonetziques (à morphologie cependant moins typée que les solonetz solodisés des mêmes régions qui montrent un B_1 à structure colonnaire à sommet arrondi) présentant un horizon A_1 , un horizon A_2 , un horizon B à structure colonnaire (prismatique), dur et compact pouvant avoir le sommet légèrement arrondi, parfois un horizon B_2 à structure colonnaire, un horizon d'accumulation de carbonates et même un horizon C identique au matériau originel des solonetz solodisés de la même région. Mais ces sols, solonetziques par leur morphologie, ont un complexe absorbant où sodium et potassium sont pratiquement absents et où la dominance du magnésium sur le calcium est faible ou inexistante.

JANZEN (1962) signale des sols solodiques se rattachant à ces sols solonetziques, classés en solods par le Comité National Pédologique du Canada (1960), uniquement d'après leur morphologie, puisqu'ils accusent par ailleurs des teneurs en sodium échangeable très faibles (de l'ordre de 0,1 mé pour 100 ou moins), des rapports calcium sur magnésium supérieurs à 1, une conductivité très faible le long du profil.

Il semble donc que les morphologies solonetziques et solodiques ne correspondent pas toujours aux processus véritables de « solonetzification » et de « solodisation ». On ne peut donc relier de façon absolue, ces caractéristiques morphologiques à des caractéristiques sodiques. De même, les caractéristiques sodiques ne sont pas toujours corrélatives de ces caractéristiques morphologiques. C'est ainsi que dans les bassins versants des Voltas Blanche et Rouge, la structure colonnaire assez fréquente en $(B)_1$ n'est pas caractéristique d'une intensité de l'influence sodique et n'a pas une différenciation proportionnelle à la richesse en sodium échangeable. Certains sols, parmi les plus riches en sodium (rapport sodium sur capacité d'échange Na/T de l'ordre de 25 à 40 %) sont des vertisols typiques*, d'autres sont des vertisols de transition vers les sols halomorphes, d'autres sont des sols halomorphes sans structure colonnaire, alors que certains sols à halomorphie faible à moyenne (rapport Na/T de l'ordre de 12 à 16 %) présentent un $(B)_1$ à structure colonnaire.

HALLSWORTH (1964) propose pour la formation des solonetz solodisés du district de Pilliga (New South Wales), une autre hypothèse, à savoir :

a) Formation de l'horizon B par entraînement mécanique de l'argile dans un matériau initialement grossier et non par le processus classique de formation des solonetz.

b) Formation de la silice recouvrant le sommet des colonnes non par dégradation des particules d'aluminosilicates, mais par dissolution de la silice à la surface des fines particules de quartz et son absorption par les plantes, retour à la surface du sol, lors de la décomposition de la matière organique, de cette silice finement divisée qui est entraînée vers le bas et déposée au sommet des colonnes par arrêt des eaux de drainage.

En conclusion, l'existence de caractéristiques morphologiques identiques ou voisines de celles des solonetz, solonetz solodisés et solods ne préjuge pas d'une évolution selon les processus classiques de formation des solonetz et de solodisation.

3.1.2. Comparaison avec les sols halomorphes des bassins versants des Voltats blanche et rouge

3.1.2.1. CAS DES SOLS À RECOUVREMENTS SUPERFICIELS NON REDIFFÉRENCIÉS GÉNÉRALEMENT PEU ÉPAIS (SOLS RESSEMBLANT AUX SOLONETZ)

D'après la classification russe, ces sols ne pourraient être souvent que des sols solonetziques à moyennement solonetziques, qui peuvent accuser un certain lessivage en A et une certaine compacité en B, mais les quantités de sodium sont très faibles pour amener à un processus typique de « solonetzisation » puis de solodisation. Si l'on adopte pour la caractérisation des solonetz des valeurs plus faibles du rapport Na/T (de l'ordre de 12 à 15 %), les sols des bassins versants des Voltas Blanche et Rouge pourraient être considérés comme des solonetz, mais le rapport Na/T est encore parfois marginal, la dispersion des argiles est beaucoup moins accusée en $(B)_1$ qu'en $(B)_2$, si bien que le $(B)_1$ structural n'apparaît pas comme l'horizon sodique par excellence.

* Cf. Profil VN 17 décrit au début de l'étude des Vertisols lithomorphes : 2^e Partie - Les Vertisols.

Par ailleurs, l'acidité de certains horizons (B) (quoique faible, pH 6,4 à 6,7), l'alcalinité assez fréquemment à peine marquée dans l'horizon (B)₂, se justifient mal dans le cadre du processus typique de formation des solonetz.

3.1.2.2. CAS DES SOLS À RECOUVREMENTS SUPERFICIELS RELATIVEMENT ÉPAIS ET DIFFÉRENCIÉS EN DEUX HORIZONS (SOLS RESSEMBLANT AUX SOLONETZ SOLODISÉS)

La nature solodique de ces sols est très contestable du point de vue de la physico-chimie du complexe absorbant. La persistance et le bon développement de la structure colonnaire dans la partie supérieure de certains horizons (B) laisseraient supposer que la solodisation n'a pas été poussée dans ces sols jusqu'au stade solod. Il est difficile alors d'expliquer l'acidité franche de ces horizons (B) supérieurs (pH très souvent de l'ordre de 5,4 à 5,8) et surtout le fait qu'ils accusent des pH inférieurs ou égaux à ceux des horizons A₁₂, inférieurs à ceux des horizons A₁₁ et des caractéristiques analytiques non typiquement sodiques. Par ailleurs, en supposant que la solodisation poussée puisse expliquer les caractéristiques précédentes, le processus suppose un lessivage intense des bases (calcium, magnésium, sodium) des horizons A et de la partie supérieure du (B) solodisée. Dans ce contexte, on expliquerait mal le pH parfois seulement neutre à très faiblement alcalin (7,1 à 7,6) et la teneur souvent faible en sodium échangeable de la base des horizons (B), (Na/T souvent inférieur à 12 %). Il faudrait alors que ces divers éléments aient été entraînés plus loin malgré la très faible perméabilité de l'ensemble de ces horizons. D'autre part, la solodisation s'accompagne aussi d'un enrichissement des horizons A en particules poudreuses (limons) par rapport aux horizons B et C. VILENSKII (1957) signale cet enrichissement en particules poudreuses dans les solods. JANZEN (1961) signale une augmentation très nette du limon total (2 μ à 50 μ) dans les horizons A des solonetz solodisés du Saskatchewan par rapport aux horizons B et C, augmentation qui peut atteindre 60 %, mais il ne retrouve pas ces caractéristiques dans les solods (JANZEN, 1962).

Dans les sols du genre solonetz solodisés des bassins versants des Voltas Blanche et Rouge, les teneurs en limons (2 μ à 20 μ) sont à très peu de chose près équivalentes dans les horizons A₁₁, A₁₂ et (B).

En ce qui concerne les lignes et lits blanchâtres poudreux à la base des horizons A, les revêtements blanchâtres sur le sommet des colonnes et les faces des prismes, il s'agit très probablement de silice amorphe ou (et) de quartz très fins dont l'accumulation peut être reliée au processus invoqué par HALLSWORTH (1964), à savoir qu'il peut s'agir soit de sables fins, soit de silice libérés par la décomposition de la matière organique, entraînée et déposée à la base des horizons A et aux sommets des colonnes par l'arrêt des eaux de drainage à ce niveau. Mais, même sans invoquer la libération de la silice par la décomposition de la matière organique, les eaux qui circulent dans une région fortement rajeunie par l'érosion et où affleurent partout la roche et ses produits d'altération plus ou moins poussés, contiennent certainement une certaine quantité de silice et peuvent entraîner du quartz finement divisé. Cette silice et ce quartz se déposent dans les zones de percolation de l'eau et sur les niveaux à imperméabilité totale. Ce processus peut être simplement lié à l'hydromorphie assez prononcée dans ces sols, par arrêt des eaux de drainage au-dessus du matériau halomorphe imperméable du fait de sa dispersion accusée. En effet, les revêtements de particules sableuses très fines blanchies qu'on trouve dans ces sols halomorphes, se rencontrent aussi assez fréquemment dans des sols hydromorphes à engorgement très prononcé, qui n'ont rien de sols lessivés ni dégradés (sols très argileux), sur les faces des agrégats et selon les canalicules, tout comme dans les horizons A de certains sols halomorphes.

3.1.3. Conclusion

En résumé, il apparaît que la morphologie de ces sols ne peut s'expliquer par le processus normal de formation des solonetz et des solods. L'appel aux processus polyphasés pour expliquer la présence d'horizons A pseudo-lessivés, se justifie donc bien.

3.2. PROCESSUS D'APPORTS POLYPHASÉS DANS LES SOLS HALOMORPHES DES BAS-SINS VERSANTS DES VOLTAS BLANCHE ET ROUGE

Le processus des apports polyphasés est une caractéristique des régions étudiées* et aussi, semble-t-il, d'une manière générale, des bas-glacis soudaniens si l'on s'en réfère à la similitude d'évolution retrouvée au Sénégal Oriental, dans la feuille à 1/200 000 de Dalafi (KALOGA, 1966a).

On a pu constater ce processus dans les vertisols, dans les sols bruns eutrophes. Il sera à nouveau étudié plus spécialement dans la quatrième partie de cette étude qui sera consacrée aux sols hydromorphes.

3.2.1. Sols à recouvrements superficiels non redifférenciés et généralement peu épais

Dans ces sols, l'évidence du processus d'apports polyphasés est assez discrète mais réelle. C'est ainsi qu'on peut noter la présence d'un horizon A sableux, très peu épais, non caillouteux, au-dessus d'horizons (B) présentant des poches plus riches en cailloux de quartz et gravillons ferrugineux, avec dans le bas des poches plus sableuses, tandis que le matériau originel sous-jacent est constitué tantôt par une pâte argileuse à structure polyédrique sans cailloux de quartz, tantôt par des poches sableuses. Dans certains profils, l'horizon A est graveleux à sa base ou repose sur un lit gris blanchâtre caillouteux. On peut noter aussi des lits de cailloux de quartz avec ou non des gravillons ferrugineux intercalés à l'intérieur du (B) (cas du Profil VN 71 où ce lit de 14 cm d'épaisseur est intercalé à l'intérieur de l'horizon (B)₂, qui ne contient pas d'éléments grossiers et se trouve donc en discontinuité avec le granit sous-jacent pegmatitique).

3.2.2. Sols à recouvrements superficiels relativement épais et différenciés en deux horizons

Dans ces sols, la constatation du processus d'apports polyphasés est facile. Les cas de discontinuité entre les matériaux des différents horizons sont nombreux et indiscutables. Ce sont par exemple :

- a) Une augmentation visible de la teneur en sables grossiers de l'horizon A₁₂.
- b) Un horizon A₁₂ épais (24 cm) essentiellement constitué de cailloux de quartz dont certains très gros, alors que l'horizon A₁₁ ne présente pas d'éléments grossiers et que (B) présente des poches de cailloux de quartz seulement au sommet.
- c) Horizon A₁₁ contenant quelques gravillons ferrugineux nettement en discontinuité par rapport à l'horizon A₁₂ qui contient d'assez nombreux gravillons ferrugineux et graviers de quartz avec à sa base une fente horizontale de dessiccation soulignée par de gros cailloux de quartz ; (B) est lui-même un apport argileux, inexistant par endroits, dans le profil et reposant sur un horizon grossier constitué de concrétions irrégulières formées à partir de gravillons ferrugineux avec des cailloux de quartz.
- d) Horizons A₁₁ et A₁₂ essentiellement caillouteux au-dessus d'un horizon (B) argileux non caillouteux reposant sur un gneiss non pegmatitique.

* Cf. 1^{re} Partie : Etude du milieu naturel.

4. CONCLUSIONS

Les sols halomorphes des bassins versants des Voltas Blanche et Rouge, qui pourraient apparaître à première vue comme des solonetz ou des solonetz solodisés semblent avoir évolué en fait sous l'action de processus différents de ceux qui sont habituellement invoqués pour la formation de ces sols.

Les horizons A apparaissent comme des matériaux divers, non halomorphes, plaqués sur les matériaux halomorphes, sous l'effet, soit d'un polyphasage véritable, soit de remaniements accompagnés d'un appauvrissement.

Le processus d'halomorphie est donc limité à des caractéristiques structurales morphologiques et analytiques qui ne sont pas toujours spécifiques à l'égard des Vertisols, ni même totalement caractéristiques de l'halomorphie sur le plan de la structure.

En effet, si certaines caractéristiques comme l'assemblage très compact des éléments structuraux avec une cohésion d'ensemble très forte sont typiquement d'origine sodique, d'autres comme l'existence de la structure polyédrique (pourtant fréquente) ne peuvent être attribuées à l'action du sodium.

En fonction de toutes ces considérations, il semble qu'il faille étudier le problème de la classification de ces sols. C'est ce qui ressortait aussi des conclusions faites lors de la discussion des relations vertisols-sols bruns eutrophes-sols halomorphes (KALOGA, 1966b).

Cette étude est une première approximation destinée à être mieux précisée ultérieurement, notamment par des études micromorphologiques.

SITUATION DES LOCALITÉS CITÉES

BARGUINSÉ	11° 11' lat N	00° 31' long W
IMIYOUGOU	12° 54' —	1° 19' —
KAIBO	11° 45' —	1° 1' —
KORSIMORO.....	12° 49' —	1° 5' —
KOUPÉLA	12° 11' —	00° 22' —
MANÉ	12° 59' —	1° 21' —
MOAKEN	12° 32' —	1° 1' —
NIAOGO	11° 46' —	00° 46' —
NORGUAIN	11° 36' —	00° 57' —
OUAGADOUGOU	12° 22' —	1° 31' —
SAWANA	12° 37' —	1° 9' —
WAYEN	12° 21' —	1° 1' —
ZIGA	12° 34' —	1° 7' —

BIBLIOGRAPHIE

ANTIPOV-KARATAEV (I.N.), 1953. — Cité par VILENSKII (D.G.), 1957.

ARIAT-FARGEAS (G.), 1963. — Rapport de stage. Centre ORSTOM de Dakar, 72 p. *multigr.*

- AUBERT (G.), 1964. — La classification des sols utilisée par les pédologues français en zone tropicale ou aride. (Colloque C.C.T.A. sur la classification des sols des régions intertropicales, leurs corrélations et leur interprétation, 1963, Lovanium). *Sols afr.*, vol. IX, n° 1, pp. 97-105.
- AUBERT (G.), 1965. — Classification des Sols. Tableaux des classes, sous-classes, groupes et sous-groupes de sols utilisés par la Section de Pédologie de l'ORSTOM. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. III, fasc. 3, pp. 269-288.
- BOCQUIER (G.), 1964. — Présence et caractère des solonetz solodisés tropicaux dans le bassin tchadien. *Congr. internation. Sci. Sol* 8, Bucarest, vol. V, pp. 687-693.
- CHAUVEL (A.), 1967. — Carte pédologique du Sénégal oriental à l'échelle du 1/200 000. Notice explicative des faunes de Kédougou et Keniéba - Kossanto. Centre ORSTOM de Dakar, 155 p. *multigr.*
- Commission de Coopération Technique en Afrique, 1964. — La carte des sols d'Afrique à 1/5 000 000. Projet conjoint n° 11. C.C.T.A. Publication n° 93, Lagos, vol. I, 210 p. + carte en 7 feuilles.
- D'HOORE (J.), 1955. — Sols et Argiles noirs tropicaux et subtropicaux. *Sols. afr.*, vol. III, n° 3, pp. 366-377.
- GEDROITS (K.K.), 1926. — Osolodnie Pochv (Solodification of Soils). Cité par VILENSKII (1957).
- GEDROITS (K.K.), 1928. — Solonstsy, ikh proishkhozhdnie, svoita i melioratsiya (Solonetz, Their origin, Properties and Melioration). Cité par VILENSKII (1957).
- GREENE (H.), 1953. — Using Salty Land 2nd ed. *F.A.O. Agric. Studies* n° 3, Rome, IV, 52 p.
- HALLSWORTH (E.G.), WARING (H.D.), 1964. — Studies in Pedogenesis in New South Wales. VIII. An alternative hypothesis for the formation of the Solodized-Solonetz of the Pilliga district. *J. Soil Sci.*, vol. XV, n° 2, pp. 158-177.
- HENIN (S.), FEODOROFF (A.), GRAS (R.), MONNIER (G.), 1960. — Le profil cultural. Principes de physique du sol. *Soc. Ed. Ing. agric.*, Paris, XXIV, 320 p.
- JANZEN (W.K.), MOSS (H.C.), 1956. — Exchangeable cations in Solodized- Solonetz and Solonetz- like Soils of Saskatchewan. *J. Soil Sci.*, vol. 7, n° 2, pp. 203-212.
- JANZEN (W.K.), 1961. — Mechanical composition of Solodized- Solonetz and Solonetz- like Soil of Saskatchewan. *J. Soil Sci.*, vol. XII, n° 1, pp. 101-110.
- JANZEN (W.K.), 1962. — Exchangeable cations and mechanical composition of Solodic Soils of Saskatchewan. *J. Soil Sci.*, vol. XIII, n° 1, pp. 116-123.
- KALOGA (B.), 1965. — Sols et Pédogenèse dans les bassins-versants des Voltas Blanche et Rouge (Cours moyens). Centre ORSTOM de Dakar. 362 p. *multigr.*
- KALOGA (B.), 1966 a. — Carte pédologique du Sénégal oriental à l'échelle du 1/200 000. Notice explicative de la feuille Dalafi. Centre ORSTOM de Dakar, 104 p. *multigr.*
- KALOGA (B.), 1966 b. — Etude pédologique des bassins versants des Voltas Blanche et Rouge en Haute-Volta.
— 1^{re} partie : le milieu naturel. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. IV, n° 1, pp. 23-62;
— 2^e partie : les vertisols. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. IV, n° 3, pp. 29-61.
- MAIGNIEN (R.), 1963. — Les sols bruns eutrophes tropicaux. *Sols afr.*, vol. VIII, n° 3, pp. 485-490.
- MARTIN (D.), SIEFFERMANN (G.), VALLERIE (M.), 1966. — Les sols rouges du Nord-Cameroun. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. IV, n° 3, pp. 3-28.
- National Soil Survey Committee of Canada, 1960. — Report of the Meeting of the February, Canada Depart. *Agric., Ottawa.*
- PAQUET (H.), MAIGNIEN (R.), MILLOT (G.), 1961. — Les argiles des régions tropicales semi-humides d'Afrique Occidentale. *Bull. Serv. Carte géol. Als. Lorr.*, t. 14, fasc. 4, pp. 111-128.
- ROSS (C.S.), 1958. — Review of relationships in the montmorillonite group of clay minerals. *Nat. Conf. Clays and clay minerals. 7, Washington*, pp. 225-229.
- SIGMOND (A.A. de), 1938. — The principles of Soil Science-Trans. A.B. Yolland. Thomas Murby and Co., London.
- THOMANN (C.), 1964. — Les différentes fractions humiques de quelques sols tropicaux de l'ouest africain. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. II, n° 3, pp. 43-79.
- U.S.D.A. Soil survey staff, 1960. — Soil classification. A comprehensive system. 7th approximation. U.S.D.A., Washington, VI, 265 p.
- VAN DER MERWE (C.R.), 1940. — Soils groups and sub-groups of South Africa. Union of South Africa, *Dept. Agric. For. Chem.*, sér. n° 165, Pretoria, 316 p.
- VILENSKII (D.G.), 1963. — Salinified and solodified (degraded alkali) Soils in : Soil Science. 3rd. enl. ed. Transl. from russian. Israel Program for sci. Transl., Jérusalem, pp. 390-415.