

NÉOFORMATION ET DÉGRADATION DES MINÉRAUX ARGILEUX DANS CERTAINS SOLONETZ SOLODISÉS ET VERTISOLS DU TCHAD

Hélène PAQUET, Gérard BOCQUIER et Georges MILLOT

Centre de Recherches de Sédimentologie et de Géochimie de la Surface de Strasbourg (C.N.R.S.).

Centre ORSTOM de Fort-Lamy (Tchad).

Laboratoire de Géologie et de Paléontologie de l'Université de Strasbourg ()*

RÉSUMÉ. — L'étude des minéraux argileux des solonetz solodisés du Tchad et des vertisols qui leur sont associés a été effectuée par diffraction des rayons X. La néoformation, la stabilité, la dégradation des montmorillonites caractéristiques de ces sols sont décrites.

I. — DÉFINITIONS

1. Solonetz solodisés.

D'après AUBERT (1964, 1965), les solonetz solodisés appartiennent à la classe des sols halomorphes, caractérisés, soit par la richesse en sels solubles, soit par la richesse en sodium échangeable d'au moins un horizon : plus de 12 % de la capacité d'échange est saturée en sodium. Cet horizon acquiert, de ce fait, une structure massive et diffuse.

(*) Travail effectué avec le Concours de la Délégation Générale à la Recherche Scientifique et Technique.

Dans la classe des sols halomorphes, les solonetz solodisés se rangent dans la sous-classe des sols halomorphes à alcalis, dans le groupe des sols halomorphes lessivés à alcalis, c'est-à-dire des sols caractérisés par une migration des colloïdes minéraux, et dans le sous-groupe des sols halomorphes lessivés à alcalis, dont l'horizon B a une structure en colonnettes.

Trois grands phénomènes président à la naissance des solonetz solodisés :

- l'alcalisation, enrichissement du profil essentiellement en ions Na^+ et K^+ , avec transformation des propriétés physiques du sol, en fonction de la teneur en ces ions alcalins;
- la solonetzisation, migration des argiles dispersées, en présence des ions alcalins;
- la solodisation, dégradation des argiles dans un milieu potassique ou sodique.

D'HOORE (1964) et DUCHAUFOR (1965), d'une part, et la classification américaine (1960) d'autre part — qui fait des solonetz solodisés essentiellement des *natralbolls* (Mollisols), certains étant tout de même considérés comme des *albic natrargids* (Aridisols), ou comme des *natric natraqualfs* (Alfisols) — rendent compte des mêmes caractéristiques que celles qui sont indiquées par AUBERT.

En résumé, les solonetz solodisés sont des sols halomorphes à alcalis lessivés, dont l'horizon B présente une structure en colonnes recouvertes à leur partie supérieure et latéralement par une croûte blanchie; ces sols ont une capacité d'échange suffisamment saturée en sodium, pour faire apparaître une structure massive et une forte compacité.

2. Vertisols.

D'après AUBERT (1964, 1965), les vertisols et les paravertisols constituent une classe de sols caractérisés par leur couleur foncée, relativement à leur teneur en matière organique, une structure prismatique ou polyédrique large et grossière, s'accompagnant d'une macroporosité très faible des blocs, sur la moitié du profil environ. Ces sols sont souvent très argileux, et à dominance d'argile gonflante; le complexe adsorbant est en général très riche en magnésium.

AUBERT distingue les vertisols et paravertisols topomorphes, formés dans les zones planes ou déprimées, toujours hydromorphes; et les vertisols et paravertisols lithomorphes, développés sur des pentes plus ou moins prononcées, et toujours riches en argile de type 2/1.

D'HOORE (1964) et DUCHAUFOR (1965) d'une part, la classification américaine (1960) d'autre part, donnent des vertisols des définitions très voisines.

En résumé, les vertisols sont des sols de couleur foncée, à structure prismatique ou polyédrique, caractérisés par une faible teneur en matière organique, une forte proportion d'argile gonflante, et un complexe adsorbant essentiellement saturé par le calcium et le magnésium.

II. — RÉPARTITION DES SOLONETZ SOLODISÉS ET DES VERTISOLS DANS LE PAYSAGE

Les solonetz solodisés sont connus au Tchad sous le terme de « *naga* » (arabe du Tchad) ou « *hardé* » (fulfulbé). Ils y ont été observés et cartographiés en tant que sols halomorphes

complexes à alcalis par PIAS (1956, 1962, 1964), PIAS et GUICHARD (1956), PIAS et BARBERY (1964, 1964), PIAS et POISOT (1964), GUICHARD et POISOT (1964), BOCQUIER, AUBRY et BARBERY (1964) et BOCQUIER et BARBERY (1965); ils sont présents dans diverses régions, aussi bien à proximité des massifs de bordure du Nord-Cameroun ou du Ouaddaï, que dans les vastes zones alluviales de la cuvette tchadienne : Fort-Lamy, Massenya, Fort-Archambault.

La reconnaissance et la détermination de solonetz solodisés tropicaux dans le bassin tchadien revient à BOCQUIER (1964, 1965), tandis que HUMBEL (1965) en a récemment décrit certains profils au Nord-Cameroun, dans la région de Maroua.

Une caractérisation de solonetz solodisés tropicaux a été effectuée par BOCQUIER (1964), dans la région d'Am-Dam, qui se situe sur la bordure orientale du Bassin du Tchad, entre 11° et 14° de latitude nord. Le climat de cette région est de type tropical sahélo-soudanais, avec une pluviométrie annuelle moyenne d'environ 700 mm. La végétation caractéristique de ces solonetz solodisés est peu dense : elle se compose d'une steppe arbustive à épineux, irrégulièrement clairsemée, à *Accacia seyal*, *Lannea humilis*, *Balanites aegyptica*; une strate graminéenne se développe saisonnièrement par plages. La roche mère des profils consiste en matériaux issus de l'altération de roches granitiques calco-alcalines et alcalines à biotite ou à deux micas.

Les solonetz solodisés se développent dans un paysage constitué de vastes glacis anciens, à très faible pente, adossés ou non à des inselbergs granitiques et admettant un certain drainage externe. Ces grandes surfaces de piémont, à topographie presque plane, passent progressivement à des plaines alluviales périodiquement mal drainées. Les solonetz solodisés se développent sur ces longs versants, où ils sont associés, en position haute, à des sols ferrugineux tropicaux lessivés et, en bas de pente, à des vertisols hydromorphes. Ces solonetz solodisés de glacis qui se développent sur des matériaux issus de roches granitiques et riches en ions alcalins et alcalino-terreux sont dits « *lithomorphes* ». Le sodium leur est fourni par la roche mère.

BOCQUIER (1965) a plus récemment étudié des solonetz solodisés dans la région de Singako qui se situe dans le Sud-Est tchadien, au Sud du lac Iro : la région est soumise au climat soudano-guinéen, avec une pluviométrie annuelle moyenne d'environ 1000 mm. Les solonetz solodisés ont été observés et décrits en association avec des vertisols. A l'échelle du modelé alluvial, constitué de bourrelets et de dépressions qui représentent des portions d'anciens lits, les solonetz solodisés occupent les petites éminences exondées — bourrelets et levées — alors que les vertisols sont localisés dans les dépressions inondées périodiquement. A l'échelle du micro-relief « *gilgai* », établi sur une formation alluviale argileuse, dominant légèrement des plaines basses inondées, les solonetz solodisés occupent alors les micro-dépressions et les vertisols les micro-sommets. Les solonetz solodisés décrits dans la région de Singako sont dits « *hydromorphes* » : le sodium y est apporté par les eaux de la nappe et accumulé dans des zones particulières du modelé alluvial ou du micro-relief; il n'est pas issu du matériau parental.

L'étude systématique de profils de solonetz solodisés lithomorphes et hydromorphes, et de leur passage à d'autres types de sols se poursuit actuellement dans la région de Léré et de Fort-Lamy.

En résumé, les solonetz solodisés du Bassin tchadien se développent soit sur de vastes glacis à partir de matériaux dérivés de granite alcalin ou calco-alcalin, soit sur les bourrelets alluviaux anciens ou actuels des mayos, sous l'action prépondérante d'une nappe phréatique riche en sels et plus particulièrement en sodium. Dans le premier cas, il s'agit de solonetz

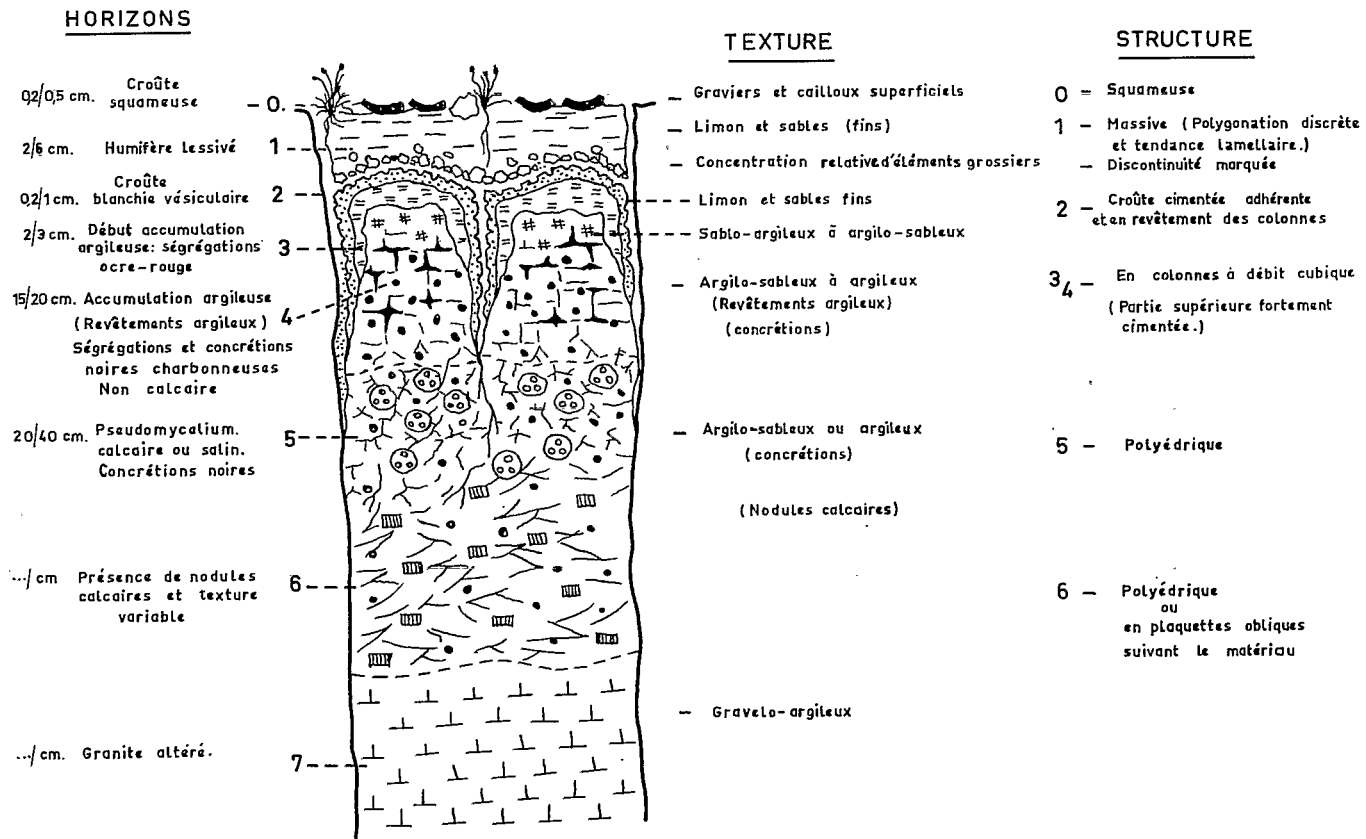


FIG. 1. — Schéma représentant un profil type de solonetz solodisé (Bocquier, 1963).

solodisés lithomorphes, dans le second, de solonetz solodisés hydromorphes. Les deux types de sols sont couramment associés à des vertisols hydromorphes.

Remarque : Les solonetz solodisés, d'abord identifiés en Europe centrale, ont été reconnus et décrits par la suite dans diverses régions et sous différents climats, à hiver généralement froid : en U. R. S. S., (PANIN et ARISTARKHOV, 1962; BOBKHOV, 1963; IVANOVA, 1963; BOLISHEV et KAPUSTKINA, 1964; BUYLOV, 1964, 1965; LABENETS, 1964; STEPANOV, 1964; ANTIPOV-KARATAEV et KADER, 1965); dans plusieurs régions des Etats-Unis, dans l'Arkansas (HORN, RUTLEDGE, DEAN et LAWSON, 1964), dans l'Illinois (FEHRENBACHER, WILDING, ODELL et MELSTED, 1963), au Sud Dakota (WHITE, 1961, 1964; WHITE et BONESTELL, 1960; WHITE et PAPENDICK, 1961); au Canada, dans l'Alberta (REEDER et ODYNSKI, 1964; ARSHAD et PAWLICK, 1966), dans le Saskatchewan (MATHIEU, 1960; JANZEN, 1961, 1962). Les solonetz solodisés ont aussi été signalés dans la plaine alluviale du Moyen-Irak (SMITH et ROBERTSON, 1964), en Yougoslavie (MILJKOVIC, 1965). Dans les régions tropicales, ils sont cités notamment en Argentine par PAPADAKIS (1963), en Australie par HALLSWORTH et WARING (1964), et en Afrique par HAGENZIEKER (1961) au Ghana, MURDOCH (1964) au Swaziland, d'HOORE (1964) au Soudan, au Tanganika, au Kenya et en République sud-africaine.

Au fur et à mesure que les prospections se développent, on en décrit de plus en plus en Afrique tropicale.

III. — PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DES PROFILS DU TCHAD

1. Solonetz solodisés tropicaux.

BOCQUIER (1964, 1965) a minutieusement décrit les caractéristiques morphologiques et physico-chimiques des solonetz solodisés tropicaux. On se reportera à ces deux articles et on se contentera d'énoncer brièvement ces caractéristiques, en prenant comme exemple un profil lithomorphe de la région d'Am-Dam.

a) *Caractéristiques morphologiques.*

La figure 1 montre un profil type ABC, caractérisé par la succession des horizons squameux, lessivé et d'accumulation, au-dessus de la roche mère.

b) *Caractéristiques physico-chimiques.*

— Le lessivage en argile est intense (indice d'entraînement : 5). Des actions latérales d'érosion par l'eau peuvent s'ajouter à la migration verticale et à la solonetzisation; elles pourraient être responsables de l'accumulation relative d'éléments grossiers à la base de l'horizon lessivé de certains profils.

— L'indice d'entraînement des sesquioxydes est faible (environ 1,25); les sesquioxydes s'accumulent au sommet de l'horizon B.

— Le calcium et le magnésium dominent dans le complexe adsorbant. Le taux de sodium échangeable représente 6 à 12 % de la capacité d'échange.

— Les sols ne sont pas salés; l'accumulation en Na^+ est localisée dans l'horizon B_2 qui présente la structure la plus instable et la perméabilité la plus faible.

— Les horizons supérieurs lessivés ont un pH acide, voisin de 6, l'horizon B_1 un pH neutre, l'horizon B_2 et l'horizon C un pH alcalin compris entre 8,5 et 9.

— La teneur moyenne en matière organique est proche de 1, mais inférieure à cette valeur.

c) *Remarque.*

Ces différentes caractéristiques concordent bien avec les données de la littérature, à l'exception toutefois des valeurs du pH, en général plus élevées — 8,8 —, et de la teneur en sodium échangeable. En effet, d'après les Américains, cette teneur en sodium échangeable est d'au moins 15 % et elle peut atteindre 40 % (FEHRENBACHER, WILDING, ODELL, MELSTED, 1963; HORN, RUTLEDGE, DEAN et LAWSON, 1964); les Canadiens (BALLANTYNE et CLAYTON, 1963; REEDER et ODYNSKY, 1963), les Russes (PANIN et ARISTARKHOV, 1962) et les Belges ayant travaillé en pays tropical et représentés par d'HOORE (1964) indiquent également des teneurs en sodium échangeable toujours supérieures à 15 %.

Encore faudrait-il que les différentes méthodes utilisées pour extraire le sodium échangeable soient comparables et ce n'est pas forcément le cas. En outre, étant donné la morphologie typique des profils étudiés, il semble qu'une teneur importante en sodium échangeable ne soit pas essentielle au développement des caractéristiques des solonetz. D'après ARANY (1956), la présence de quantités importantes de magnésium échangeable et la dominance des bicarbonates pourraient aussi favoriser les processus d'alcalisation. D'après le « *National Soil Survey Comitée of Canada* » de 1960 (in BALLANTYNE et CLAYTON, 1963) un horizon solonetzique comporterait plus de 15 % de sodium échangeable, ou une teneur (sodium + magnésium) plus grande que la teneur en calcium. D'après BOBKOV (1963), ce qui est important dans le phénomène de la solonetzisation n'est pas tant la quantité absolue de sodium échangeable que sa dominance sur le calcium et sur le magnésium.

Le caractère singulier des solonetz solodisés du Tchad par rapport à ceux qui ont été décrits dans d'autres pays est donc une faible teneur en sodium échangeable : 6 à 12 % au lieu de 15 à 40 % d'après les données de la littérature. Une explication possible serait la suivante : l'action de la température; en effet, la température moyenne annuelle de 28 °C au Tchad, est largement supérieure à celle des pays où les solonetz solodisés ont été décrits. La vitesse des réactions et, en particulier des hydrolyses, en est hâtée. L'intensité des mécanismes pédologiques compenserait la faible teneur en sodium échangeable.

2. Vertisols.

On prendra l'exemple d'un vertisol de la région de Singako pour énoncer les caractéristiques morphologiques et physico-chimiques de ce groupe.

a) *Caractéristiques morphologiques.*

La figure 2 montre un profil type AC, présentant une succession d'horizons humifères et d'un horizon de passage avec le matériel originel.

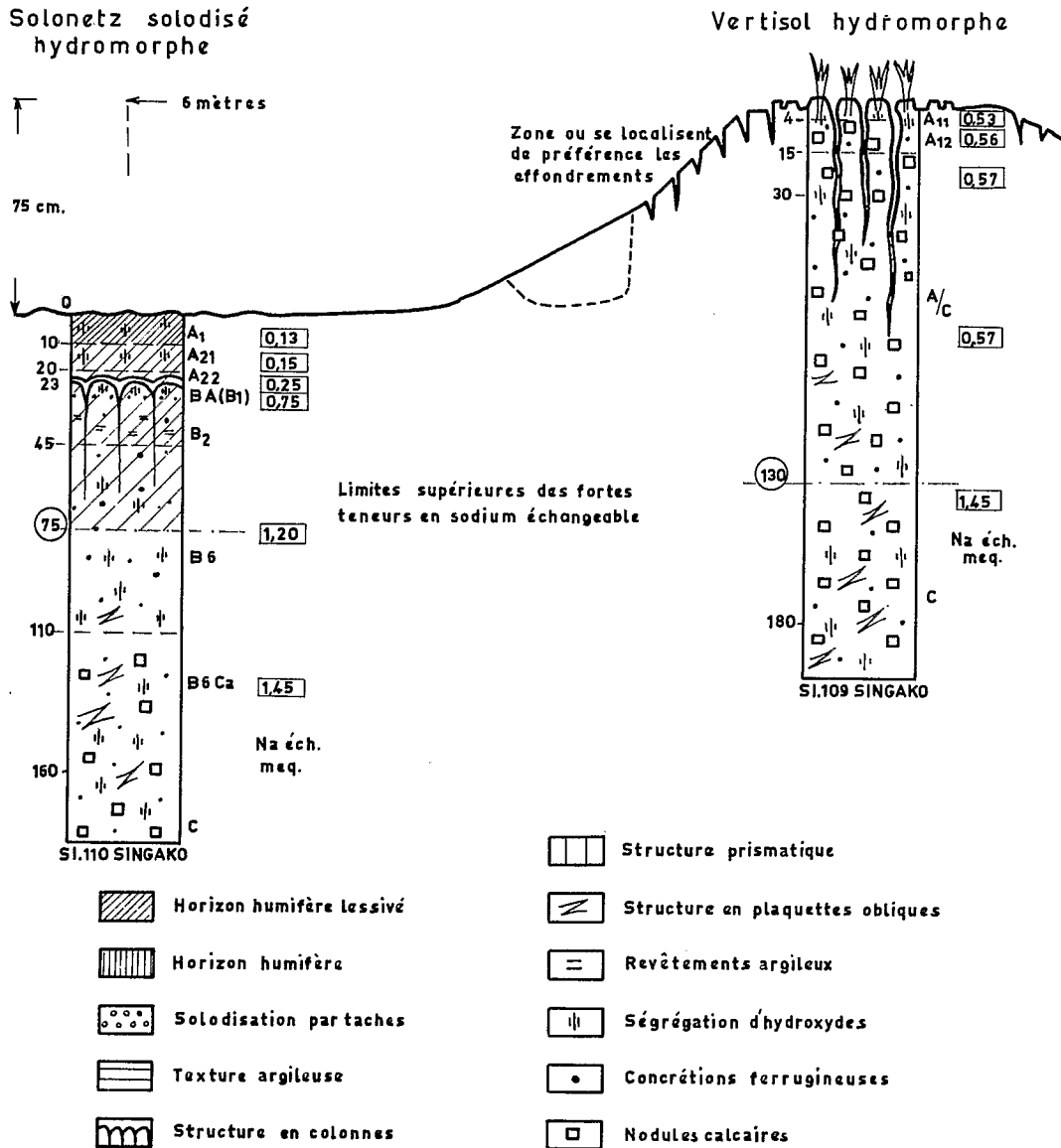


FIG. 2. — Schéma représentant les relations génétiques entre vertisol et solonetz solodisé dans un micro-relief gilgai. (Bocquier, 1965).

b) *Caractéristiques physico-chimiques.*

- Le pH est alcalin dans toute l'épaisseur du profil.
- La capacité d'échange varie peu : elle est totalement saturée par Ca, Mg, Na de la base vers le haut du profil, qui comporte des nodules calcaires dans toute sa masse.
- Le fer est peu mobile sur tout le profil.
- Il existe un fin concrétionnement ferrugineux constant dans toute l'épaisseur du profil; pas plus que la nodulation calcaire, il ne peut être lié à un horizon particulier.
- La teneur en matière organique est voisine de 2 % et peut atteindre 3 % dans certains sols, avec une accumulation sensible au sommet des profils.

IV. — ANALYSE MINÉRALOGIQUE DE LA FRACTION ARGILEUSE

L'étude de la fraction argileuse comporte pour chaque profil : l'analyse minéralogique de la fraction inférieure à 2 μ de chaque horizon.

TABLEAU I
Profil DAM 14

N° éch.	Horizons		Analyse minéralogique (1)		
			K	I	M
141 a 0 à 2 cm	Horizon humifère	A	+	+	+
141 b 3 à 7 cm	Horizon humifère		2	5	3
142 3 à 15 cm	Accumulation sesquioxydes + argiles	B	2	2	6
143 30 à 40 cm	Accumulation argile + calcaire		1	1	8
144 70 à 80 cm	Horizon de transition Accumulation calcaire		1	1	8
145 100 cm	Roche granitique altérée	C	1	1	8

(1) K = kaolinite, I = illite, M = montmorillonite, + = minéral argileux présent, mais tellement mal cristallisé qu'il n'est pas permis d'en donner une estimation, même approximative.

Les chiffres affectés à chaque minéral argileux, dans les analyses minéralogiques, ne sont pas des pourcentages exacts, mais des indications relatives. Le total des minéraux argileux a été arbitrairement fixé à 10.

1. Solonetz solodisés lithomorphes.

Deux profils typiques ont été étudiés; il s'agit d'un profil de la région d'Am-Dam, DAM 14 et d'un profil de la région de Léré, LÉRÉ 45.

Le profil DAM 14 est développé sur matériau argilo-sableux dérivé de granite, et le profil LÉRÉ 45 sur matériau argilo-sableux dérivé de granodiorite.

Les résultats des analyses ont été groupés dans les tableaux I et II.

TABLEAU II
Profil LÉRÉ 45

N° éch.	Horizons		Analyse minéralogique		
			Edifice à 7 Å (1)	I	M
45 - 1 0 à 6 cm	Horizon humifère lessivé	A	+		+
45 - 1 bis 0 à 10 cm	Horizon humifère lessivé		+		+
45 - 2 6 à 12 cm	Horizon humifère lessivé Passage à A ₂		+	+	+
45 - 2 bis 10 à 11 cm	Horizon A ₂		+	+	+
45 - 3 bis	Sommet des colonnes	B	4	1	5
45 - 3 12 à 18 cm	Horizon B en colonnes		3	traces	7
45 - 4 30 à 40 cm	Horizon B ₂ à tendance polyédrique		3	traces	7
45 - 5 40 à 50 cm	Horizon B ₂ à tendance polyédrique		3	traces	7
45 - 6 60 à 70 cm	Passage au granite altéré	C	2	traces	8
45 - 7 au-dessous de 70 cm	Granite altéré		1	1	8

COMMENTAIRES

— Profil DAM 14.

La fraction fine de la roche mère, qui est une roche granitique altérée (éch. 145) est presque exclusivement constituée de montmorillonite.

Dans la partie inférieure et moyenne de l'horizon d'accumulation (éch. 144 et 143), la montmorillonite est toujours très dominante.

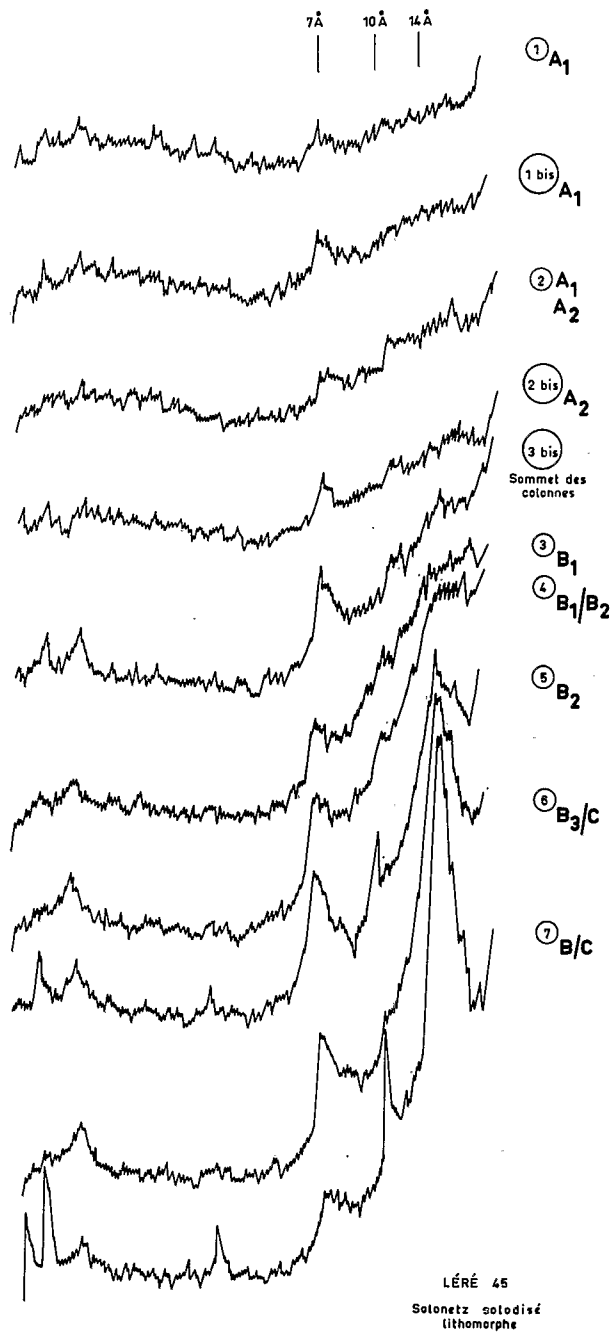


FIG. 3. — Evolution de la fraction inférieure à 2μ dans le profil de solonetz solodisé lithomorphe LÉRÉ 45.

La fraction fine de la partie supérieure de cet horizon (éch. 142) donne un diagramme de diffraction sur lequel les pics diminuent tous de netteté et d'intensité. La montmorillonite, quoique moins bien cristallisée, reste tout de même dominante.

La fraction fine des deux niveaux de l'horizon humifère (éch. 141a et b) est caractérisée par une dominance de l'illite. En effet, la montmorillonite a presque complètement disparu, et le pic de diffraction de la kaolinite a encore diminué par rapport à ce qu'il était sur le diagramme correspondant à l'échantillon 142.

— Profil LÉRÉ 45 (fig. 3).

La fraction inférieure à 2μ de la roche mère (éch. 45-7), une grano-diorite altérée, est essentiellement constituée d'une très belle montmorillonite, qui se maintient dans le niveau marquant le passage à la roche mère. La kaolinite, très désordonnée, est peu abondante.

La fraction fine des trois niveaux (éch. 45-5, 45-4 et 45-3) de l'horizon d'accumulation comporte les mêmes proportions des deux types de minéraux argileux en présence, la montmorillonite et la kaolinite mal cristallisée. La montmorillonite est toujours abondante, mais, de la base vers le haut de l'horizon d'accumulation, la montmorillonite semble beaucoup se dégrader : son pic de diffraction est extrêmement flou et étalé.

La fraction argileuse du sommet des colonnes (éch. 45-3 bis) donne un diagramme moins intense que les précédents : la montmorillonite a nettement diminué.

La fraction fine des quatre niveaux des horizons humifères (éch. 45-2 bis, 45-2, 45-1 bis, 45-1) donne des diagrammes très peu intenses, où l'on ne distingue pratiquement plus aucun pic.

TABLEAU III
Profil LÉRÉ 58

N° éch.	Horizons		Analyse minéralogique		
			K	I	M
58 - 0	Rejets de vers de terre	A	+	traces	+
58 - 1 0 à 8 cm	Horizon humifère lessivé		3	traces	7
58 - 2 15 à 20 cm	Horizon humifère lessivé		3	traces	7
58 - 3 25 à 30 cm	Horizon gris blanc lessivé		3		7
58 - 4 35 à 36 cm	Horizon A ₂ blanchi		3	traces	7
58 - 5 36 à 44 cm	Croûte blanche calcaire	B	3	traces	7
58 - 6 50 à 60 cm	Horizon prismatique		3	traces	7
58 - 7 80 à 90 cm	Passage à la roche mère	C	1	traces	9

2. Solonetz solodisé hydromorphe.

On présentera dans le tableau III les résultats de l'analyse minéralogique d'un solonetz solodisé hydromorphe de la région de Léré. Il s'agit d'un profil développé sur matériau argileux sédimentaire et ayant subi une solodisation de nappe : le profil LÉRÉ 58.

COMMENTAIRES (fig. 4)

La fraction fine de l'horizon représentant le passage à la roche mère (éch. 58-7) est presque exclusivement constituée d'une très belle montmorillonite. La kaolinite, assez mal cristallisée, est peu abondante.

Dans les deux niveaux de l'horizon d'accumulation (éch. 58-6 et 58-5), la montmorillonite diminue légèrement en qualité et en quantité, mais elle reste abondante.

Dans les différents niveaux de l'horizon lessivé (éch. 58-4, 58-3, 58-2, 58-1 et 58-0), la montmorillonite reste dominante dans la fraction argileuse, mais l'intensité des diagrammes diminue de plus en plus, à mesure que l'on s'approche de la surface du profil; elle devient très faible dans l'horizon superficiel.

3. Étude comparée d'un solonetz solodisé lithomorphe et d'un vertisol voisin.

Le solonetz solodisé lithomorphe étudié est le profil DAM 15 développé, sur matériau argilo-sableux dérivé du granite, à la partie inférieure d'un glacis, le glacis du Batha. A 150 mètres de distance, en situation très légèrement plus basse, le deuxième profil observé (DAM 18) est de type vertisol hydromorphe sur même roche mère.

Les résultats des analyses sont réunis dans les tableaux IV et V.

TABLEAU IV
Profil DAM 15

N° éch.	Horizons		Analyse minéralogique		
			K	I	M
151 b 1 à 5 cm	Horizon légèrement humifère lessivé	A	5	+	5
152 5 à 15 cm	Horizon d'accumulation de sesquioxydes et d'argile	B	5	traces	5
153 40 à 50 cm	Horizon d'accumulation d'argile et de calcaire		4	traces	6
154 100 cm	Matériau argilo-sableux dérivé de granite	C	3	traces	7

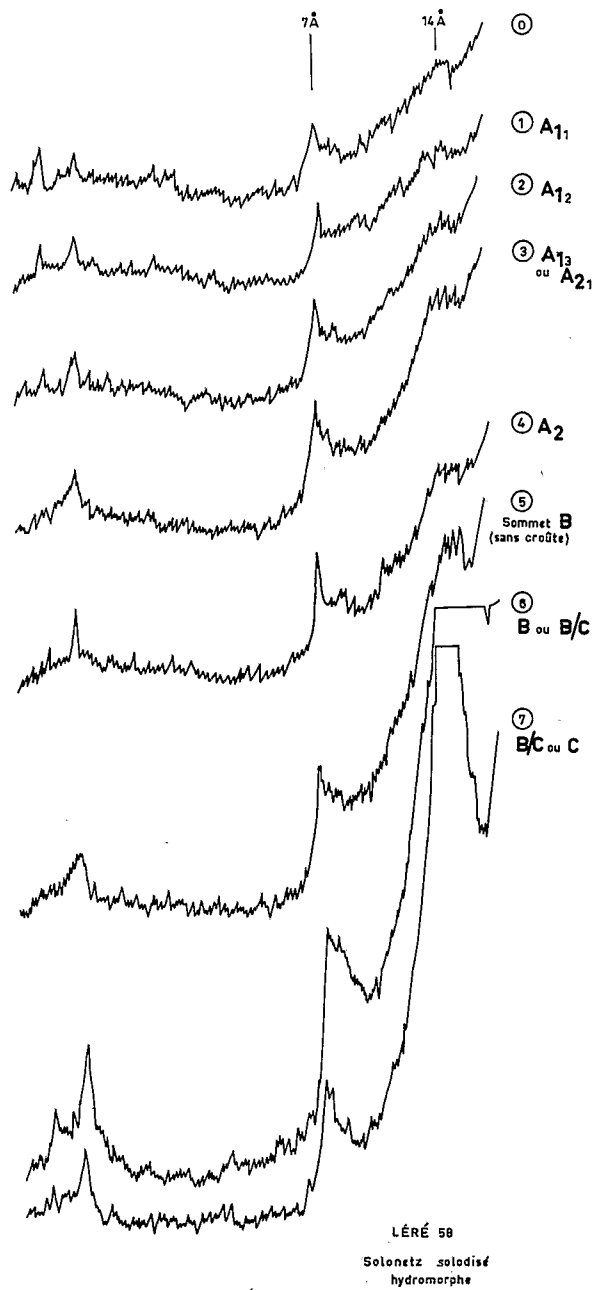


FIG. 4. — Evolution de la fraction inférieure à 2μ
dans le profil de solonetz solodisé hydromorphe
LÉRE 58.

TABLEAU V
Profil DAM 18

N° éch.	Profondeur du prélèvement	Analyse minéralogique	
		K	M
181	0 - 10 cm	4	6
182	20 - 30 cm	3	7
183	60 - 70 cm	3	7

COMMENTAIRES

— Profil DAM 15.

La fraction fine de l'échantillon 154 est certainement proche de celle de la roche mère et est composée d'une montmorillonite très bien cristallisée et très abondante. La kaolinite, dont la teneur est assez faible, est également très bien cristallisée.

Dans l'échantillon 153, la fraction argileuse donne un diagramme bien moins intense que le précédent, et qui montre une diminution de la teneur et de la cristallinité de la montmorillonite. La kaolinite, plus abondante en valeur relative, est également nettement moins bien cristallisée que dans l'horizon inférieur.

L'évolution amorcée dans l'échantillon 153, se poursuit dans les échantillons 152 et 151b. On peut noter que la fraction fine de l'échantillon 151b est riche en quartz.

— Profil DAM 18.

L'évolution de la fraction fine est analogue à celle décrite pour le profil de solonetz solodisé DAM 15, mais elle est plus atténuée et se localise à la partie supérieure du profil.

4. Étude comparée d'un solonetz solodisé hydromorphe et d'un vertisol voisin.

Les deux profils analysés sont deux profils de la région de Singako. Ils se développent en association étroite sur une alluvion argileuse du Bassin de Salamat, qui est le siège d'un micro-relief « *gilgai* ». Le solonetz solodisé Si 110 occupe une dépression du micro-relief « *gilgai* », le vertisol Si 109 un sommet de ce micro-relief (fig. 2). Les deux profils sont distants de 6 mètres.

On a groupé les résultats des analyses dans les tableaux VI et VII.

COMMENTAIRES

— Profil Si 110.

La fraction argileuse du matériau vertisolique (éch. Si 110₆) qui représente la roche mère du profil, est constituée pour moitié de kaolinite mal cristallisée, et pour moitié d'un

TABLEAU VI
Profil Si 110

N° éch.	Horizons		Analyse minéralogique			
			K	I	G	Quartz
Si 110 ₁ 0 à 10 cm	A ₁₁ Horizon humifère lessivé, solodisé	A	5	tr	5	présent
Si 110 ₂ 10 à 20 cm	A ₁₂ Horizon humifère lessivé, solodisé		5	tr	5	présent
Si 110 ₃ 20 à 23 cm	A ₂ Horizon lessivé solodisé par tache		5	tr	5	présent
Si 110 ₄ 23 à 35 cm	B ₁ Début d'accumulation d'argiles et sesquioxydes	B	5	tr	5	
Si 110 ₅ 70 à 80 cm	B ₂ Accumulation de base et de sodium		5	tr	5	
Si 110 ₆ 130 à 140 cm	Matériau vertisolique	C	5	tr	5	

TABLEAU VII
Profil Si 109

N° Ech.	Horizon		Analyse minéralogique		
			K	I	G
Si 109 ₁ 0 à 4 cm	A ₁₁ Horizon humifère. Tendance à la gleyification	A	5	tr.	5
Si 109 ₂ 4 à 15 cm	A ₁₂ Ségrégation des sesquioxydes		5	tr.	5
Si 109 ₃ 20 à 30 cm	A ₁₃ Fin de ségrégation humifère		5	tr.	5
Si 109 ₄ 70 à 80 cm	A/C Passage au matériau. Structure vertisolique		5	tr.	5
Si 109 ₅ 130 à 140 cm	C Matériau vertisolique	C	5	tr.	5

édifice gonflant si mal organisé qu'il ne mérite pas le nom de montmorillonite : on l'a désigné dans le tableau par la lettre G.

Au fur et à mesure que l'on se rapproche de la surface du profil, la composition minéralogique de la fraction fine reste constante, mais les diagrammes sont de moins en moins intenses.

— Profil Si 109.

La fraction argileuse du matériau vertisolique (éch. Si 109₅) est constituée, comme dans le cas du solonetz solodisé (éch. Si 110₆) par un mélange de kaolinite et d'un édifice gonflant voisin de la montmorillonite. On peut toutefois noter que le diagramme de diffraction est beaucoup plus intense que son homologue dans la série Si 110 et que la kaolinite est beaucoup mieux organisée : elle donne un pic aigu.

A mesure que l'on remonte vers la surface du profil, l'intensité des diagrammes diminue aussi, mais le diagramme réalisé sur la fraction fine de l'horizon superficiel n'est pas aussi mauvais que celui obtenu sur la fraction argileuse de l'horizon superficiel du profil Si 110.

5. Étude du passage progressif vertisol hydromorphe — solonetz solodisé.

On a pu étudier le passage d'un vertisol à un solonetz solodisé sur matériau argileux non calcaire, grâce à une tranchée de 2,20 m de longueur. Il s'agit des profils 41/1 (vertisol), 41/2 et 41/3 (solonetz solodisés) dont les résultats de l'analyse figurent dans le tableau VIII.

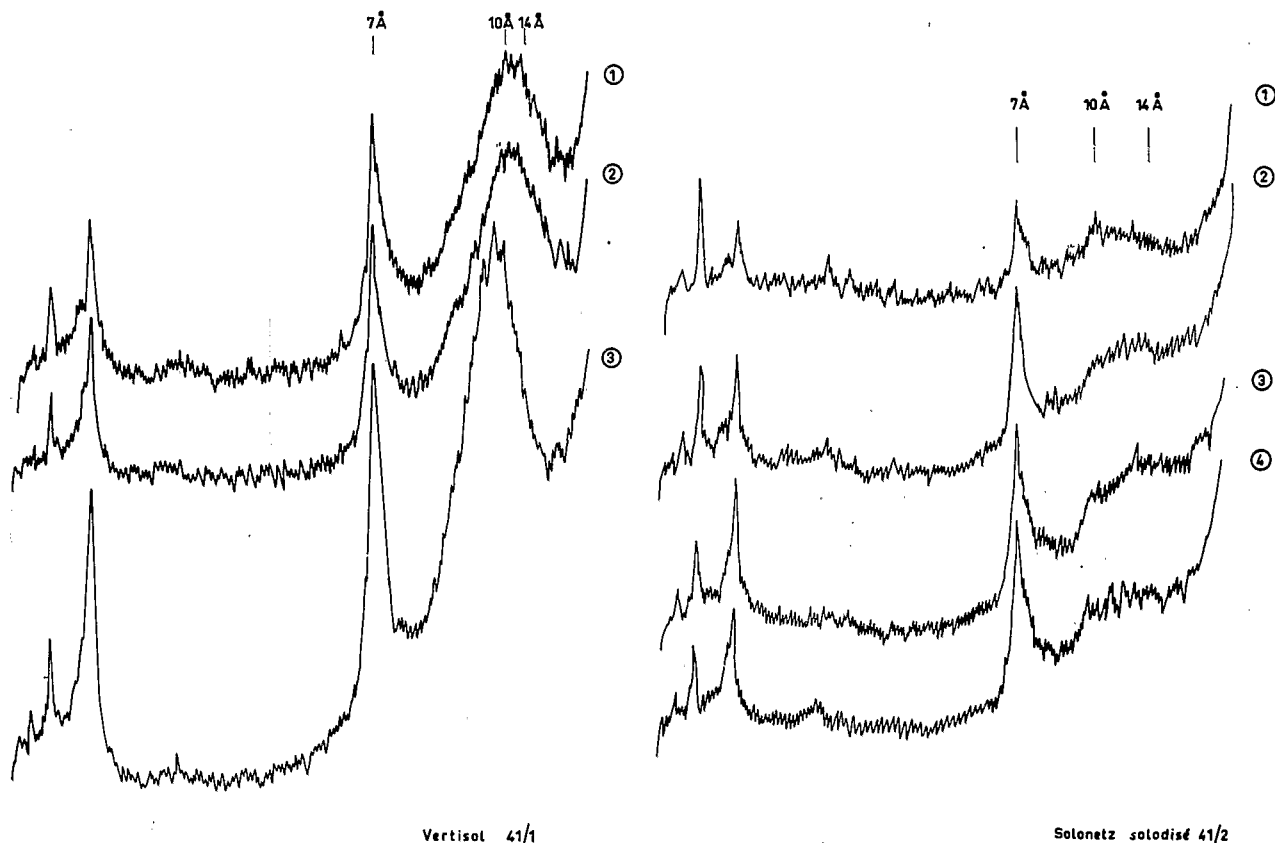


FIG. 5. — Evolution comparée de la fraction inférieure à 2μ dans le vertisol 41/1 et le solonetz solodisé 41/2.

TABLEAU VIII
Profils DAM 41/1, 41/2, 41/3

N° Ech.	Horizon	Analyse minéralogique		
		K	I	M
41/1 1 0 à 5 cm	Horizon faiblement humifère	3		7
41/1 2 10 à 25 cm	Horizon brun gris foncé prismatique	3		7
41/1 3 25 à 35 cm	Horizon brun prismatique	3		7
41/2 1 0 à 2 cm	Horizon faiblement humifère	5	traces	5
41/2 2 5 à 15 cm	Horizon gris	5	traces	5
41/2 3 20 à 30 cm	Horizon prismatique à croûte irrégulièrement présente sur les sommets et faces latérales des prismes	5	traces	5
41/2 4 50 à 60 cm	Horizon brun cubique	5	traces	5
41/3 1 0 à 6 cm	Horizon faiblement humifère	5	traces	5
41/3 2 12 à 20 cm	Horizon lessivé gris clair	5	traces	5
41/3 3 25 à 35 cm	Horizon d'accumulation en colonnes	5	traces	5

COMMENTAIRES (fig. 5)

Dans l'horizon inférieur du vertisol (éch. 41/1-3), la montmorillonite, très bien cristallisée, est très abondante; la kaolinite est aussi très bien cristallisée.

Dans les horizons supérieurs (éch. 41/1-2 et 41/1-1), les deux minéraux sont un peu moins bien organisés et les diagrammes de diffraction, quoique légèrement moins intenses, restent très beaux.

Dans le sol intermédiaire, à la base du profil déjà, (éch. 41/2-4), les minéraux argileux sont assez mal cristallisés, et moins abondants que dans le vertisol.

Les proportions des deux types de minéraux argileux en présence restent constantes jusqu'à la surface du profil, mais les diagrammes de diffraction sont de moins en moins intenses. On peut noter la présence d'une quantité non négligeable dans la fraction fine des deux horizons supérieurs (éch. 41/2-2 et 41/2-1).

Pour le solonetz solodisé (41/3), on peut faire les mêmes remarques que pour le sol intermédiaire (41/2). Il faut tout de même signaler que le quartz est abondant dans la fraction argileuse des deux horizons supérieurs.

V. — L'ÉVOLUTION DES SILICATES

Au chapitre précédent, on a décrit le comportement des différents types de minéraux argileux de la fraction inférieure à $2\ \mu$, de la base vers la surface de chaque profil. On peut tirer un certain nombre de leçons, de l'examen des faits.

1. Solonetz solodisés lithomorphes : DAM 14 et LÉREÉ 45.

A la base du profil dans la roche mère et à la partie inférieure, au moins, de l'horizon d'accumulation B, la montmorillonite est abondante et bien cristallisée. Puis au fur et à mesure que l'on remonte vers la surface du sol, sa teneur et sa cristallinité diminuent.

De ce fait, la kaolinite, peu abondante à la base du profil, augmente, mais en valeur relative seulement pour la raison que c'est un minéral argileux plus résistant que la montmorillonite (*). Mais l'examen des diagrammes de diffraction permet d'affirmer qu'elle se désorganise comme la montmorillonite, dans la partie superficielle du profil.

Au terme de l'évolution, on arrive à un stade où toute la matière silicatée est presque complètement dégradée, comme l'indiquent les courbes d'enregistrement : les pics de diffraction sont extrêmement flous, parfois même à peine visibles.

2. Solonetz solodisé hydromorphe LÉREÉ 58.

L'évolution de la fraction argileuse de ce type de sol est tout à fait semblable à celle qui a été observée dans le cas des solonetz solodisés lithomorphes. On parvient, dans les horizons supérieurs, c'est-à-dire dans les horizons lessivés du profil, à un complet effondrement des structures.

3. Évolution comparée entre un solonetz solodisé lithomorphe DAM 15 et un vertisol voisin DAM 18.

Dans le profil de solonetz solodisé DAM 15, l'évolution de la fraction fine est analogue à celle qui a été décrite pour les profils lithomorphes et le profil hydromorphe typique, mais

(*) Cette observation est aussi valable pour l'illite, présente dans le profil DAM 14.

elle est moins poussée : la montmorillonite, abondante et bien cristallisée à la base du profil, reste bien déterminable et présente dans une proportion de 50 % jusque dans l'horizon superficiel humifère. La désorganisation de la montmorillonite n'est donc que partielle.

Dans le vertisol DAM 18, on retrouve la belle montmorillonite qui avait été observée à la base du profil DAM 15, et qui est très dominante dans la fraction argileuse. Cette montmorillonite commence à se désorganiser dans l'horizon superficiel : sa dégradation s'amorce donc à peine à ce niveau.

4. Évolution comparée entre un solonetz solodisé hydromorphe Si 110 et un vertisol voisin Si 109.

Ces deux profils sont formés sur des alluvions comparables, et ils sont étroitement liés génétiquement dans le micro-relief « *gilgai* ».

La fraction fine du matériel alluvial qui constitue la roche mère comporte une montmorillonite déjà très désorganisée, et relativement peu abondante par rapport aux teneurs trouvées dans les roches mères des autres profils.

Dans les deux profils développés sur cette roche mère, la désorganisation de la montmorillonite va aller en augmentant, accompagnée d'ailleurs par celle de la kaolinite. Cette évolution est plus accentuée dans le cas du solonetz solodisé.

5. Passage vertisol hydromorphe — solonetz solodisé : 41/1 — 41/2 — 41/3.

L'étude de ce passage permet de préciser ce qui a été observé précédemment : dans le vertisol, la montmorillonite, bien cristallisée et abondante au voisinage de la roche mère, est pratiquement stable dans toute l'épaisseur du sol; au contraire, dans les solonetz solodisés, la teneur en montmorillonite fléchit à 50 % de la fraction fine, dès la base du profil, et cette montmorillonite montre la dégradation caractéristique.

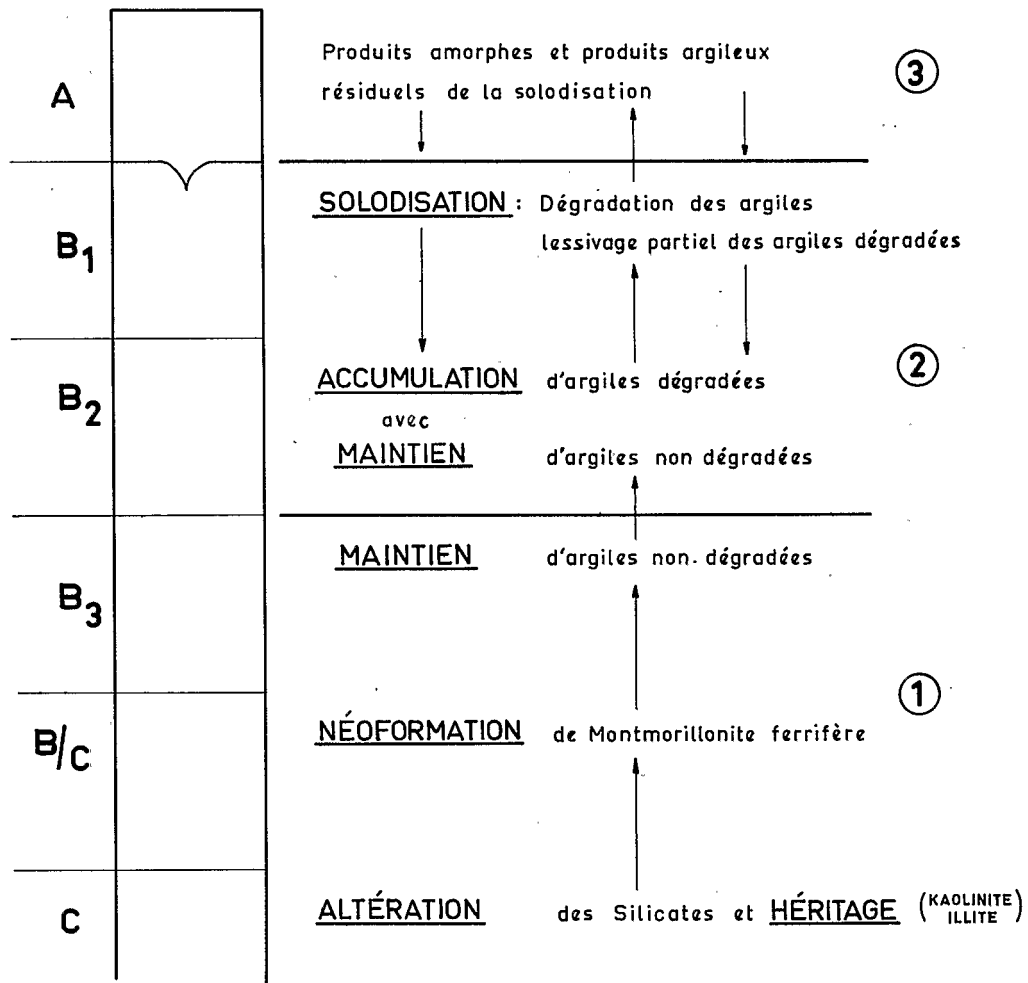
VI. — INTERPRÉTATIONS

L'évolution de la matière silicatée dans les solonetz solodisés et les vertisols qui leur sont associés, peut être résumée de la manière suivante. Ce résumé est schématisé dans le tableau IX.

1. Néoformation de la montmorillonite.

La montmorillonite de la base des solonetz solodisés lithomorphes et des vertisols qui leur sont associés est certainement néoformée dans les profils quand les roches mères n'en contiennent pas. Ainsi les profils décrits DAM 14, LÉRÉ 45, DAM 15 et DAM 18 se déve-

TABLEAU IX
*Localisation schématique des phases d'évolution de la fraction argileuse
dans le profil pédologique*



loppent sur les produits d'altération de roches granitiques. Les roches mères fournissent les éléments nécessaires à la genèse de la montmorillonite : dans ce milieu favorable à sa formation, la montmorillonite qui naît est abondante et bien cristallisée.

Des mesures récentes sur les montmorillonites extraites des vertisols lithomorphes de nombreux pays d'Afrique ont indiqué que ces montmorillonites étaient aluminoferrifères; elles appartiennent à la famille beidellite ferrifère-nontronite (TRAUTH, PAQUET, MILLOT, 1967).

2. Stabilité de la montmorillonite.

Les conditions de néoformation de la montmorillonite sont aussi celles de sa stabilité.

Ainsi, les vertisols étudiés sont caractérisés par la quasi-permanence de la montmorillonite bien cristallisée dans toute l'épaisseur du profil.

Dans le cas des solonetz solodisés lithomorphes, comme celui du profil LÉRÉ 45, la montmorillonite néoformée dans l'horizon B/C se maintient dans l'horizon B₃.

Pour les solonetz solodisés hydromorphes, illustrés par les profils LÉRÉ 58 et Si 110, on ne peut pas affirmer que la montmorillonite se néoforme dans le sol, si le matériau parental est déjà lui-même montmorillonitique. Héritée de ce matériau parental, la montmorillonite trouve à la base du profil les conditions nécessaires à sa permanence et à sa stabilité.

3. Dégradation de la montmorillonite.

Dans les horizons B au-dessus de l'horizon B₃, les diagrammes de diffraction indiquent une altération croissante des minéraux argileux. En même temps, les analyses pédologiques montrent que ces horizons sont le siège d'une accumulation de particules argileuses fines, avec un pH légèrement basique. Nous interprétons ces évolutions en disant qu'à la base des horizons B les montmorillonites néoformées dans la zone de départ sont encore dominantes; au sommet des horizons B, les dégradations sont importantes; dans la zone intermédiaire, les particules dégradées, lessivées des horizons supérieurs, s'ajoutent aux montmorillonites issues des horizons inférieurs.

En effet, c'est au sommet des colonnes que se localise la dégradation, c'est-à-dire la solodisation : à ce niveau, la destruction du réseau de la montmorillonite libère le fer emmagasiné lors de sa néoformation; ceci explique la présence du niveau tacheté brun rouge à la partie supérieure des colonnes.

4. Les produits résiduels de la solodisation.

A la partie supérieure des profils de solonetz solodisés, dans les horizons A₂ et A₁, on trouve les produits résiduels de la solodisation qui sont essentiellement de la silice et des substances amorphes.

5. Kaolinite et illite héritées.

La kaolinite qui se trouvait présente pendant la néoformation massive de la montmorillonite, est plus stable en milieu lessivé que cette dernière. Elle s'altère plus lentement que la montmorillonite, ce qui fait qu'elle paraît augmenter en valeur relative dans le haut de certains profils. Mais on parvient aussi à la désorganisation de son réseau dans les horizons supérieurs des profils.

Dans les profils où l'illite, héritée de la zone de départ, est présente, son évolution est parallèle à celle de la kaolinite. Cette présence d'illite est peu fréquente dans les profils étudiés, car les roches mères au Tchad sont cristallines ou issues de roches cristallines, et les produits micacés y sont rares.

6. Terme de l'évolution des silicates.

L'évolution de la fraction argileuse dans les solonetz solodisés aboutit donc à la formation de produits amorphes à partir de la montmorillonite, de l'illite et de la kaolinite.

L'étude géochimique de cette évolution fait l'objet d'un travail en cours.

7. Comparaison avec les travaux étrangers.

Les résultats obtenus peuvent être confrontés avec ceux que l'on relève dans la littérature.

WHITTIG (1959) décrit un sol de la série de Solano en Californie. Ce sol est développé sur alluvions récentes dérivées de grès et argiles tertiaires et quaternaires, sous un climat semi-aride, à pluviosité annuelle de 500 mm. La fraction inférieure à $0,2 \mu$ est très riche en montmorillonite dans tout le profil, où la kaolinite est présente en très petite quantité. Mais la fraction comprise entre $0,2$ et 2μ est caractérisée par la présence de vermiculite (et de vermiculite-chlorite), surtout abondante dans les horizons lessivés.

MATHIEU (1960) a étudié dans sa thèse plusieurs profils de solonetz solodisés du Saskatchewan à climat continental. Le matériau originel de ces sols est dérivé d'argilites. L'auteur considère essentiellement les horizons C, B₁ et A₂ qui, selon lui, sont les plus intéressants dans l'étude de la pédogenèse. Les principaux minéraux argileux signalés par l'auteur sont la montmorillonite (de type nontronite), la chlorite, l'illite et la kaolinite. D'après les diagrammes RX et ATD et l'étude des rapports SiO₂/sesquioxydes, les phyllites de la fraction $0,2-2 \mu$ de l'horizon A₂ sont dégradées; d'autre part, l'horizon A₂ apparaît lessivé et a une structure en plaquettes.

L'horizon B₁ serait un horizon d'accumulation d'argile fine, qu'on observe en lame mince le long des parois des canaux et autour des minéraux de la masse. L'accumulation des particules argileuses le long des parois suggère un mouvement d'accumulation des colloïdes.

BOLISHEV et KAPUSTKINA (1964) décrivent en Russie un solonetz sur argile tertiaire contenant de la kaolinite et du quartz. Dans l'horizon A₁, la kaolinite prédomine, mais on note aussi la présence de substances amorphes indiquant une décomposition des aluminosilicates. Les auteurs pensent, d'autre part, qu'il y aurait synthèse de minéraux argileux de type montmorillonite dans le profil.

Enfin ARSHAD et PAWLICK (1966) étudient des solonetz solodisés d'Alberta. Les profils se développent sur un matériau glaciaire lacustre et salin recouvrant une tillite, sous un climat continental à pluviosité annuelle d'environ 400 mm. La montmorillonite qui se néoforme de façon évidente dans le profil est l'argile prédominante de la fraction fine à côté de

l'illite et de la kaolinite. Cette montmorillonite appartient, selon les auteurs, à la série beidellite-nontronite.

On peut remarquer que toutes ces études traitent de solonetz solodisés nés dans des pays nettement moins tropicaux que le Tchad. De plus, les roches mères sont sédimentaires, ou bien riches en illite et chlorite, ou bien kaoliniques, ce qui est très différent des roches cristallines du Tchad. Les dégradations des illites, des chlorites et des kaolinites viennent se superposer à celles des montmorillonites qui, dans deux cas, sont décrites comme ferrifères.

VII. — CONCLUSIONS

L'étude de l'évolution des silicates dans les solonetz solodisés du Tchad et les vertisols qui leur sont associés nous permet les quatre conclusions suivantes.

1) En pays tropical, caractérisé par une saison humide suffisante, les hydrolyses, intensifiées par la température, détruisent les silicates des roches mères et libèrent leurs constituants. Dans la zone de départ des solonetz solodisés et des vertisols, s'organisent, par néoformation, des montmorillonites alumino-ferrifères, de la famille beidellite ferrifère-nontronite. Ces minéraux argileux correspondent à une mise en réserve continentale, sous forme de silicates, d'au moins une partie des trois ions importants : Al, Si, Fe.

2) Quand, au sommet de tels profils, la solodisation survient, sous l'effet du sodium, ces argiles néoformées se dégradent à leur tour.

Après avoir été stable à la base des profils, la montmorillonite se dégrade; on parvient, dans les horizons supérieurs, à une désorganisation complète de son réseau. Cette dégradation atteint d'ailleurs les autres silicates présents : la kaolinite et, éventuellement, l'illite.

3) A la mise en réserve, dans les minéraux argileux, des ions Al, Si, Fe, succède donc leur libération seconde et ces éléments sont à nouveau livrés aux solutions. Fe apparaît sous forme oxydée au sommet des colonnes dans un niveau tacheté. Si et Al subsistent partiellement sous forme transitoire dans des produits amorphes.

4) Nous sommes ainsi amenés à distinguer deux grandes zones d'évolution des silicates dans les solonetz solodisés et les vertisols, si répandus au Tchad et au Nord-Cameroun.

— Une zone d'hydrolyse des silicates primaires et de néoformation de montmorillonites alumino-ferrifères de la famille beidellite ferrifère-nontronite. Cette zone est l'homologue de la zone de départ des profils ferrallitiques où la kaolinite prend son ampleur.

— Une zone de dégradation des minéraux argileux antérieurement néoformés : les montmorillonites ferrifères sont dégradées, et hydrolysées par solodisation.

La solodisation constitue ainsi un des processus essentiels de la dégradation des minéraux argileux. Sous d'autres climats, la podzolisation et la ferrallitisation aboutissent à des résultats semblables.

Abstract

The study of the clay minerals in the Tchad solodized solonetz and in the associated vertisols has been realized by X-ray diffraction analysis. The neoformation, stability and weathering of the montmorillonites characterizing these soils are herein described.

Zusammenfassung

Die Tonminerale der solodisierten Solonetz und die mit ihnen verbundenen « Vertisols » aus dem Tschadgebiet werden röntgenographisch untersucht. Neubildung, Stabilität sowie Abbau der Montmorillonite, welche in diesen Böden vorherrschend sind, werden beschrieben.

Резюме

Новообразование и распад глинистых минералов в некоторых солонцах и вертисолях Чада.

Были исследованы способом дифракции рентгеновских лучей глинистые минералы находящиеся в солонцах Чада и вертисолях которые их сопровождают. Описаны новообразование, устойчивость и разложение монтмориллонитов характеризующих эти почвы.

BIBLIOGRAPHIE

- ANTIPOV-KARATAEV I. N. (1956). — L'amélioration des solonetz en U. R. S. S. *Congr. Intern. Sc. Sol.*, 6-D, p. 531-536.
- ANTIPOV-KARATAEV I. N. & KADER G. M. (1965). — Sodic solonetz soils. Their genesis and the methods used for their reclamation in the U. S. S. R. *Agrokemia és Talajtan*, 14, *Proc. of the Symposium on sodic soils*, Budapest 1964, p. 111-114.
- ARANY S. (1956). — The use of alkaline waters for irrigation. *Congr. Intern. Sc. Sol.*, 6-D, p. 615-619.
- ARSHAD M. A. & PAWLICK S. (1966). — Characteristics of some solonetzic soils in the glacial lake Edmonton basin of Alberta, Canada. I. Physical and chemical characteristics. *Journ. Soil. Sc.*, 17, p. 36-47.
- AUBERT G. (1964). — La classification des sols utilisés par les pédologues français en zone tropicale ou aride. *African Soils*, 9-1, p. 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. *Cahiers Pédologie ORSTOM*, 3, p. 269-287.
- BALLANTYNE A. K. & CLAYTON J. S. (1964). — The relationship of exchangeable cations in the B horizons to the field separations of solonetzic and chernozemic soils. *Canad. Journ. Soil Sc.*, 44-1, p. 43-49.
- BOBKOV V. P. (1963). — Solonetzization processes in the soils of the Volga-Akhtuba flood Plain. *Soviet Soil Sc.*, 6, p. 575-582.
- BOCQUIER G. & CLAISSE G. (1963). — Reconnaissance pédologique dans les vallées de la Gambie et de la Koulountou (République du Sénégal). *Cahiers Pédologie ORSTOM*, 4, p. 5-32.
- BOCQUIER G. (1964). — Présence et caractères de solonetz solodisés tropicaux dans le Bassin Tchadien. *Publ. Centre ORSTOM de Fort-Lamy, Tchad, ronéo*, 9 p.
- BOCQUIER G., AUBRY P. & BARBERY J. (1964). — Carte pédologique de reconnaissance au 1/200 000 de la République du Tchad. Feuille de AM DAM. *ORSTOM, Centre de Fort-Lamy*, 88 p.
- BOCQUIER G. & BARBERY J. (1965). — Carte pédologique de reconnaissance au 1/200 000 de la République du Tchad. Feuille de SINGAKO. *ORSTOM, Centre de Fort-Lamy*, 125 p.
- BOLISHEV N. N. & KAPUSTKINA N. A. (1964). — Adsorption capacity of solonetztes. *Soviet Soil Sc.*, 12, p. 1263-1271.
- BOLISHEV N. N. (1965). — Character and composition of the adsorption complex of solonetz. *Agrokemia és Talajtan*, 14, *Proc. of the Symposium on sodic soils*, Budapest 1964, p. 363.
- BOLISHEV N. N. & STINA E. A. (1965). — The part played by the biological factor in the formation of solonetz. *Agrokemia és Talajtan*, 14, *Proc. of the Symposium on sodic soils*, Budapest, 1964, p. 367-368.
- BUYLOV V. V. (1964). — Soils of eroded solonetz areas in the Turgay Hollow. *Soviet Soil Sc.*, 9, p. 948-956.
- D'HOORE J. (1964). — Carte des sols d'Afrique au 1/5 000 000 (définitions révisées). *African Soils*, 9-1, p. 55-64.
- DUCHAUFOUR P. (1965). — Précis de pédologie. Masson et Cie, éd., 481 p.
- FEHRENBACHER J. B., WILDING L. P., ODELL R. T. & MELSTED S. W. (1963). — Characteristics of solonetzic soils in Illinois. *Soil Sc. Soc. Amer. Proc.*, 27, p. 421-431.
- FRANZ H. (1961). — Exkursionen durch Österreich. *Mitt. der Österr. Bodenk. Gesells.*, 6, 189 p.
- GERASIMOV I. P. (1960). — Gleyey pseudo-podzols of central Europe and the formation of binary surface deposits. *Soils and Fertilizers*, 23, p. 1-7.
- GUICHARD G. & POISOT P. (1964). — Notice explicative. Carte pédologique de reconnaissance au 1/200 000. Feuille de MELFI. *ORSTOM, Centre de Fort-Lamy*, 85 p.
- HAGENZIEKER F. (1961). — Contribution to the agropedological knowledge of the solonetzic tropical grey earths of the accra plains, Ghana. *Netherlands Journ. agric. Sc.*, 9, p. 249-261.

- HORN M. E., RUTLEDGE E. M., DEAN H. C. & LAWSON M. (1964). — Classification and genesis of some solonetz (sodic) soils in Eastern Arkansas. *Soil Sc. Soc. Amer. Proc.*, 28, p. 688-691.
- HUMBEL F. X. (1965). — Etude de sols halomorphes du Nord-Cameroun (Maroua). *Rapport ORSTOM*, Centre Yaoundé, ronéo, 63 p.
- IVANOVA Y. N. (1963). — Tentative classification of desert and semi-desert solonetz and solods. *Soviet Soil Sc.*, 4, p. 323-328.
- JANZEN W. K. & MOSS H. C. (1956). — Exchangeable cations in solodized solonetz and solonetz-like soils of Saskatchewan. *Journ. of Soil Sc.*, 7, p. 203.
- JANZEN W. K. (1961). — Mechanical composition of solodized solonetz and solonetz-like soils of Saskatchewan. *Journ. of Soil Sc.*, 12, p. 101-110.
- JANZEN W. K. (1962). — Exchangeable cations and mechanical composition of solodic soils of Saskatchewan. *Journ. of Soil Sc.*, 13, p. 116-123.
- KLAGES M. G. (1966). — Effect of clay type and exchangeable cations on aggregation and permeability of solonetz soils. *Soil Sc.*, 102, p. 46-52.
- KRUPKIN P. I. (1963). — Movement of salt solutions in soils and soil materials. *Soviet Soil Sc.*, 6, p. 567-574.
- LABENETS Y. M. (1964). — Chemistry and mineralogy of meadow solods and southern chernozems in the Krasnoznamensk canal region. *Soviet Soil Sc.*, 11, p. 1175-1187.
- MATHIEU A. L. (1960). — The mineralogy of the clay fraction in relation to the genesis of solodized solonetz soils. *Ph. D. thesis*, Univ. of Saskatchewan, ronéo, 179 p.
- MILJKOVIC N. (1965). — General review of the salt-affected (« Slatina ») soils of Yugoslavia and their classification. *Agrokemia és Talajtan, 14, Proc. of the Symposium on sodic soils*, Budapest, 1964, p. 235.
- MILLOT G. (1964). — Géologie des argiles. Masson et Cie, éd., 499 p.
- MOHR E. C. J. & VAN BAREN F. A. (1954). — *Tropical soils*. N. V. Uitgeverij w. van Hoeve. The Hague and Bandung, 498 p.
- MURDOCH G. (1964). — Etude pédologique et classification des sols du Swaziland, 1955-1963. *Sols Africains*, 9, p. 127-135.
- NIKIFOROFF C. C. (1930). — Solonetz and solonchak soils of the Red River. *Amer. Soil Surv. Ass.*, 11, p. 141.
- PANIN P. S., ARISTARKHOV A. N. (1962). — Chemical properties and water permeability of sodium carbonate salinized soils on the Karabakh Plain, Azerbaydzhan SSR. *Soviet Soil Sc.*, 6, p. 584-591.
- PAPADAKIS J. (1963). — Soils of Argentine. *Soil Sc.*, 95, p. 356-366.
- PIAS J. & GUICHARD G. (1956). — Sols hydromorphes à alcalis et salés à alcalis de la partie méridionale de la cuvette tchadienne (Tchad — Nord Cameroun). *Congr. Intern. Sc. Sol.*, 6-E, p. 425-432.
- PIAS J. (1962). — Les sols du Moyen et du Bas Logone, du Bas Chari, des régions riveraines du lac Tchad et du Bahr el Ghazal. *Mém. ORSTOM*, 2, 438 p.
- PIAS J. (1964). — Notice explicative. Cartes pédologiques de reconnaissance au 1/200 000. Feuilles d'Abeche, Biltine, Oum Hadjer. *ORSTOM, Centre de Fort-Lamy*, 105 p.

- PIAS J. & BARBERY J. (1964). — Notice explicative. Cartes pédologiques de reconnaissance au 1/200 000. Feuilles de Fort-Lamy, Massenya, Mogroun. *ORSTOM, Centre de Fort-Lamy*, 103 p.
- PIAS J. & BARBERY J. (1964). Notice explicative. Cartes pédologiques de reconnaissance au 1/200 000. Feuille de Miltou. *ORSTOM, Centre de Fort-Lamy*, 69 p.
- PIAS J. & POISOT P. (1964). — Notice explicative. Cartes pédologiques de reconnaissance au 1/200 000. Feuilles de Bokoro-Guera-Mongo. *ORSTOM, Centre de Fort-Lamy*, 146 p.
- REEDER S. W. & ODYNSKI W. (1964). — Morphological and chemical characteristics of the solonetzic soils of Northwestern Alberta. *Canad. Journ. Soil. Sc.*, 44-1, p. 22-23.
- RODE A. A. (1962). — *Soil Science*. Israel Programm for scientific translations, Jerusalem, 517 p. Traduction de Pochvovedenie, Goslesbumizdat, Moskva 1955 Leningrad.
- SMITH R. & ROBERTSON V. C. (1956). — A classification of the saline soils of the old irrigation lands of the middle Tigris Valley. *Congr. Intern. Sc. Sol.*, 6-D, p. 693-698.
- SOIL CLASSIFICATION (1960). — 7th approximation. *Soil Surv. Staff, Soil conserv. Serv., U. S. Departm. of Africa*, 265 p.
- STEPANOV I. N. (1964). — Sodium carbonate salinization of soils of Khachinchay alluvial fans (Kura-Araks lowland). *Soviet Soil Sc.*, 1, p. 22-27.
- TRAUTH N., PAQUET H. & MILLOT G. (1967). — Les montmorillonites des vertisols lithomorphes sont ferrifères : conséquences géochimiques et sédimentologiques. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 264-D, p. 1577-1579.
- WARDER F. G. (1950). — The nature of the clay minerals in some Saskatchewan soils. *M. Sc. thesis*, Univ. of Saskatchewan.
- WHITE E. M. & BONESTELL R. G. (1960). — Some gilgaied soils in South Dakota. *Soil Sc. Soc. Amer. Proc.*, 24, p. 305-309.
- WHITE E. M. (1961). — Calcium-solodi or planosol genesis from solodized-solonetz. *Soil Sc.*, 91, p. 175-177.
- WHITE E. M. & PAPENDICK R. I. (1961). — Lithosolic solodized-solonetz soils in Southwestern South Dakota. *Soil Sc. Soc. Amer. Proc.*, 25, p. 504-506.
- WHITE E. M. (1964). — The morphological chemical problem in solodized soils. *Soil Sc.*, 98, p. 187-191.
- WHITTIG L. D. (1959). — Characteristics and genesis of a solodized-solonetz of California. *Soil Sc. Soc. Amer. Proc.*, 23, p. 469-473.
- WILDING L. P., ODELL R. T., FEHRENBACHER J. B. & BEAVERS A. H. (1963). — Source and distribution of sodium in solonetzic soils in Illinois. *Soil Sc. Soc. Amer. Proc.*, 27, p. 432-438.

**NÉOFORMATION ET DÉGRADATION DES MINÉRAUX ARGILEUX
DANS CERTAINS SOLONETZ SOLODISÉS ET VERTISOLS DU TCHAD**

par

Hélène PAQUET, Gérard BOCQUIER et Georges MILLOT

Centre de Recherches de Sédimentologie et de Géochimie de la Surface de Strasbourg (C.N.R.S.).

Centre ORSTOM de Fort-Lamy (Tchad).

Laboratoire de Géologie et de Paléontologie de l'Université de Strasbourg

IMP. LOUIS-JEAN

— 1967 —

B 11631