

GÉOCHIMIE DE LA SURFACE. — *Néoformation d'une argile magnésienne dans les dépressions interdunaires du lac Tchad. Application aux domaines de stabilité des phyllosilicates alumineux, magnésiens et ferrifères.* Note (\*) de MM. Yves Tardy, Claude Cheverry et Bertrand Fritz, présentée par M. Marcel Roubault.

Dans les dépressions interdunaires du lac Tchad, où les solutions sont très concentrées, un interstratifié vermiculite-montmorillonite magnésien est néoformé. Ceci apporte une confirmation sur le coût énergétique du magnésium dans les réseaux des argiles et permet une comparaison entre les domaines de stabilité des phyllosilicates magnésiens, alumineux et ferrifères.

Dans les sols et les sédiments, la nature des minéraux argileux est très variée <sup>(1)</sup>. Leur composition chimique est également différente selon les milieux dans lesquels ces minéraux se forment ou se maintiennent. C'est ainsi que, par exemple, la sépiolite et la stévensite sont liées à la sédimentation chimique basique [(1), (2)] et que les beidellites ferrifères sont fréquentes dans les vertisols des climats tropicaux à saisons contrastées (3). Dans les profils d'altération sur les roches basiques, certains auteurs [(4), (5)] ont déjà remarqué que les argiles ferrifères apparaissent dans des milieux plus dilués que les argiles magnésiennes. C'est également ce qu'illustre la répartition des argiles héritées ou néoformées dans les sédiments lacustres des dépressions interdunaires de la cuvette tchadienne. Certaines de ces dépressions sont actuellement aménagées en polders, d'autres, plus vieilles, appelées ouadis, sont devenues de véritables salines.

#### I. NÉOFORMATION D'UNE ARGILE MAGNÉSIEUNE DANS LES POLDERS DU LAC TCHAD.

— Dans les dépressions interdunaires de la bordure septentrionale du lac Tchad, les eaux superficielles ainsi que les eaux des nappes sont soumises à une forte évaporation. Des carbonates et des sulfates de calcium et de sodium précipitent en surface ou dans la masse des sédiments lacustres exondés [(6), (7)]. Dans la région des polders de Bol, la fraction argileuse des sédiments fraîchement exondés renferme 60 à 70 % de montmorillonite, 20 à 30 % de kaolinite et environ 10 % d'illite. Dans les polders âgés de 20 ans et évoluant vers une voie saline neutre à sulfate de sodium, la nature et les proportions relatives des minéraux argileux sont identiques à celles des sédiments d'origine. Dans les horizons de surface des sols de polders âgés de 20 ans, mais évoluant dans une voie alcaline et carbonatée sodique, la proportion de montmorillonite augmente systématiquement (80 % de montmorillonite, 10 à 20 % de kaolinite, 0 à 10 % d'illite), alors que les horizons profonds ont encore une composition minéralogique analogue à celle des sédiments du lac. Dans les horizons superficiels et profonds des sols beaucoup plus âgés de la dépression de l'ouadi Latir situé à 20 km à l'intérieur des terres, le sel dominant est le carbonate de sodium, le pH est élevé (9,5 à 10,5) et la fraction argileuse renferme 100 % d'une phyllite magnésienne à comportement d'interstratifié vermiculite-montmorillonite (pic à 14 Å à l'essai normal, 15 Å à l'éthylène-glycol et 11 Å après chauffage à 490 °C). Au microscope électronique, cette argile se présente sous forme de paillettes

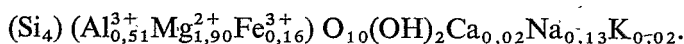
16 JUL 1974  
O. R. S. T. O. M.

Collection de Référence  
n° 6963 Pedo. Exp 1

de 1  $\mu$  de diamètre environ, aux bords arrondis ou hexagonaux. L'analyse chimique est la suivante :

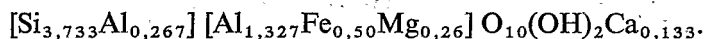
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Perte à 1 000 °C	Somme
55,0	5,74	17,20	0,22	2,70	0,075	0,24	0,93	0,23	17,58	99,915

Elle correspond à une formule structurale :



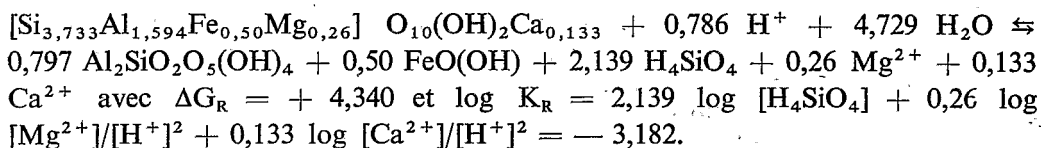
Ainsi, la montmorillonite alumineuse et ferrifère héritée semble stable, non seulement dans les sédiments du lac, mais aussi dans les sols de polders qui évoluent dans la voie saline neutre à sulfate de sodium. En revanche, les horizons de surface des sols de polders évoluant dans la voie alcaline carbonatée sodique, s'enrichissent en montmorillonite. Il s'agit vraisemblablement d'une montmorillonite magnésienne analogue à celle qui a été trouvée dans la dépression de l'ouadi Latir, évoluant également dans la voie alcaline carbonatée sodique.

II. CONDITIONS DE STABILITÉ DES ARGILES ALUMINO-FERRIFÈRES HÉRITÉES ET MAGNÉSIENNES NÉOFORMÉES. — Une estimation de l'enthalpie libre de formation des minéraux argileux de compositions variables peut être obtenue [(<sup>8</sup>), (<sup>9</sup>)] en additionnant les valeurs des enthalpies libres de formation des oxydes silicatés pondérées de leurs proportions respectives dans les minéraux considérés. Les valeurs choisies sont les suivantes : SiO<sub>2</sub> = — 204,6 ; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = — 382,5 ; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = — 176,0 ; MgO = — 149,2 ; CaO = — 182,7 ; Na<sub>2</sub>O = — 175,3 ; H<sub>2</sub>O = — 59,2 dans le cas des argiles dioctaédriques et — 54,1 dans le cas des argiles trioctaédriques magnésiennes (valeurs données en kcal/mole). Dans ce cas, la valeur de l'enthalpie libre de formation de la montmorillonite héritée dont la formule est tirée des analyses déjà publiées (<sup>3</sup>) :

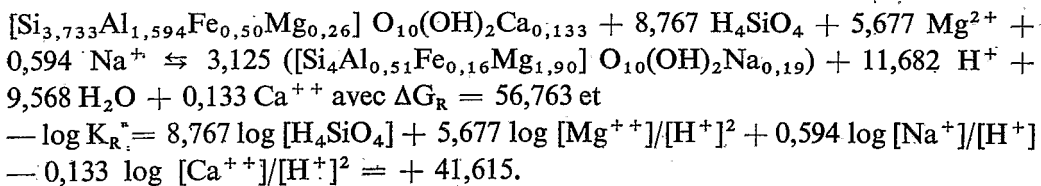


est de — 1 234,48 kcal/mole. L'enthalpie libre de formation de la montmorillonite magnésienne saturée en sodium en position échangeable est de 1 284,25 kcal/mole.

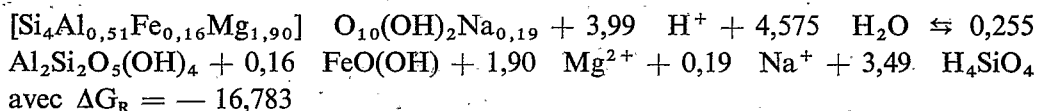
L'équation de transformation de la montmorillonite aluminoferrifère en kaolinite et goëthite s'écrit :



L'équation de transformation de la montmorillonite aluminoferrifère en montmorillonite magnésienne s'écrit :

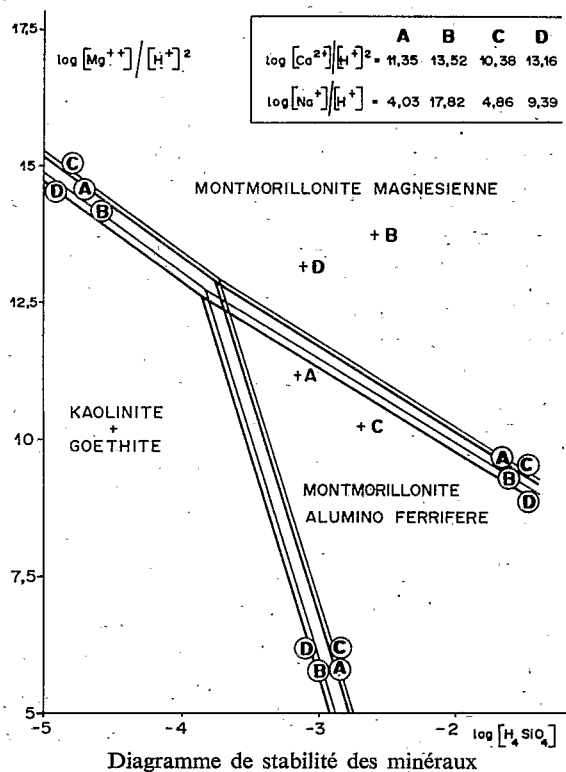


L'équation de transformation de la montmorillonite magnésienne en kaolinite et goëthite s'écrit :



$$\log K_R = 3,49 \log [\text{H}_4\text{SiO}_4] + 1,90 \log [\text{Mg}^{2+}] / [\text{H}^+]^2 + 0,19 \log [\text{Na}^+] / [\text{H}^+] = 12,304.$$

Ces trois équations, calculées à 25 °C et 1 atmosphère, définissent les domaines de stabilité de la kaolinite et de la goëthite, de la montmorillonite aluminoferrifère et de la montmorillonite magnésienne dans l'espace à quatre dimensions ( $\log [\text{H}_4\text{SiO}_4]$ ,  $\log [\text{Mg}^{2+}] / [\text{H}^+]^2$ ,  $\log [\text{Ca}^{2+}] / [\text{H}^+]^2$ ,  $\log [\text{Na}^+] / [\text{H}^+]$ ). Dans le diagramme à deux dimensions de la figure, les limites des domaines sont des droites, dont les positions varient en fonction des valeurs  $\log [\text{Na}^+] / [\text{H}^+]$  et de  $\log [\text{Ca}^{2+}] / [\text{H}^+]^2$  qui fixent les cotes des plans d'intersection.



Quatre analyses chimiques d'eaux prélevées dans les dépressions bordières du lac Tchad sont utilisées pour illustrer les domaines de stabilité des montmorillonites. Dans le diagramme présenté, la position des points figuratifs de ces eaux doit être située par rapport aux droites d'équilibre qui sont à la même cote ( $\log [\text{Ca}^{2+}] / [\text{H}^+]^2$  et  $\log [\text{Na}^+] / [\text{H}^+]$  identiques).

Les points A et C, respectivement représentatifs d'une eau de la partie nord du Lac et d'une eau de nappe de polder évoluant vers la voie saline neutre, sont situés dans le domaine de stabilité de la montmorillonite aluminoferrifère. Cette argile, en accord avec les observations de la nature, est stable dans ces milieux. Les

points B et D, respectivement représentatifs d'une eau superficielle de polder en voie d'assèchement et d'une eau de l'ouadi Latir évoluant en voie alcaline, sont situés dans le domaine de stabilité de la montmorillonite magnésienne, qui se forme dans ces sols.

TABLEAU. — Analyses chimiques de quelques eaux du système tchadien (mg/litre)

	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SiO <sub>2</sub>	Na	K	Ca	Mg	pH	Force ionique
A.....	85,4	0	< 1	< 1	50	8,3	5,1	11,2	4,3	7,5	0,00182
B.....	1 403	690	33,6	67,5	150	966	300	2,0	2,4	9,3	0,0533
C.....	244	0	3 298	28,4	85	840	230	500	180	6,45	1,313
D.....	12 810	16 200	27 840	1 065	122	30 820	7 410	< 1	< 1	9,6	0,0978

CONCLUSIONS. — Dans les sédiments du lac Tchad et dans les sols de polder qui évoluent en régime sulfaté sodique neutre, les montmorillonites alumineuses et ferrifères se maintiennent. Les solutions en contact avec ces argiles sont peu concentrées ou, si elles sont concentrées, ont des pH relativement bas.

— Dans les horizons de surface des sols soumis à une évaporation importante et évoluant en régime alcalin carbonaté sodique, les pH et les concentrations en silice sont élevés et la montmorillonite magnésienne se développe en maintenant une faible concentration de magnésium en solution.

— Il faut donc opposer, dans les conditions de la surface, les milieux dilués, acides ou neutres, où les édifices argileux stables sont représentés par les pôles alumineux et ferriques, aux milieux concentrés ou alcalins dans lesquels les minéraux qui se forment sont plus riches en magnésium et en silice.

— Dans une Note précédente <sup>(9)</sup> il avait été montré que, dans les conditions moyennes de l'altération, les argiles les plus riches en fer ferrique apparaissent stables dans les milieux les plus dilués. Ceci illustre et confirme l'ordre de formation des minéraux argileux en équilibre avec des solutions de plus en plus concentrées, déjà reconnu dans les sédiments <sup>(2)</sup> : nontronite, beidellite ferrifère, saponite, stevensite. Parallèlement à une augmentation progressive de la silice tétraédrique, le pôle ferrique est relayé par le pôle alumineux, puis par le pôle magnésien.

— On doit remarquer enfin que le domaine de stabilité des minéraux argileux est avant tout conditionné par leur composition chimique et par les rapports entre les différents ions qui constituent les réseaux. Plus que les types structuraux eux-mêmes (argiles 1 : 1, 2 : 1, en feuillets ou fibreuses), ce serait la composition chimique des édifices qui se révélerait être le meilleur critère utilisable comme indicateur de milieu de genèse.

(\*) Séance du 11 mars 1974.

(1) G. MILLOT, *Géologie des Argiles*, Masson, Paris, 1964, 499 pages.

(2) N. TRAUT, *Thèse Fac. Sc. Strasbourg*, 1974 (à paraître).

(3) H. PAQUET, *Thèse Fac. Sc. Strasbourg et Mém. Serv. Carte Géol. Als. Lorr.*, 30, 1970, 210 pages.

(4) W. E. WILDMAN, L. D. WHITTIG et M. L. JACKSON, *Amer. Min.*, 56, 3, 1971, p. 587-602.

(5) W. E. WILDMAN, M. L. JACKSON et L. D. WHITTIG, *Soil Sc. Soc. Amer. Proc.*, 32, 6, 1968, p. 787-794.

(6) C. CHEVERRY, *Thèse Fac. Sc. Strasbourg*, 1974, 275 pages.

(7) C. CHEVERRY, *Sc. du sol*, 2, 1968, p. 33-53.

(8) Y. TARDY et R. M. GARRELS, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1974 (à paraître).

(9) Y. TARDY, J.-J. TRESCASES et B. FRITZ, *Comptes rendus*, 278, Série D, 1974, p. 1665.