

SÉDIMENTOLOGIE. — *Néoformation de minéraux argileux à partir de frustules de Diatomées : le cas des lacs de l'Altiplano bolivien.* Note (*) de **Denise Badaut, François Risacher, Hélène Paquet, Jean-Pierre Eberhart et Francis Weber** présentée par Georges Millot.

Dans les salars de l'Altiplano bolivien, on peut mettre en évidence la néoformation de smectites à partir des produits libérés par la destruction des frustules de Diatomées.

In "Salars" of the Bolivian Altiplano, authigenesis of smectites can be observed from the products released by the destruction of Diatom skeletons.

Dans les Andes boliviennes [1], deux cordillères, la cordillère orientale et la cordillère occidentale, encadrent un ensemble endoréique de bassins d'effondrement quaternaire ou plioquaternaire, situé vers 4000 m d'altitude et connu sous le nom d'Altiplano bolivien. Ces bassins sont en partie occupés par des lacs (lac Titicaca, lac Poopo) et par des salines (salars d'Uyuni, Coipasa, etc.), surtout bien représentées dans la partie sud de l'Altiplano fortement marquée par un volcanisme acide. Dans la région du Lipez, la plus méridionale et la plus élevée de l'Altiplano, les sédiments étudiés sont de type évaporitique, riches en gypse, halite, sylvite, etc. Ils contiennent, en outre, des squelettes de Diatomées et, en quantité variable, une smectite mal définie par ses réponses aux traitements habituels (pas d'écrasement propre à 10 Å). Des observations au microscope électronique, effectuées en vue de l'étude des smectites ont révélé un lien étroit entre les Diatomées et les argiles qui paraissent se former au détriment de la silice organique des frustules de Diatomées. Une étude plus approfondie des relations entre les frustules de Diatomées et les argiles néoformées a donc été entreprise. Des prélèvements ont été effectués dans le centimètre supérieur des dépôts qui tapissent actuellement le fond des salars de la région, car c'est dans la partie tout à fait supérieure des dépôts que les Diatomées sont encore bien conservées.

I. ÉTUDE MORPHOLOGIQUE DE L'ALTÉRATION DES FRUSTULES DE DIATOMÉES. — 1. *Microscope électronique à balayage.* — Au microscope électronique à balayage, à côté de Diatomées parfaitement fraîches (fig. 1), on observe des frustules d'aspect corrodé (fig. 2) qui sont, en fait, recouverts d'argiles dont on peut montrer qu'elles sont néoformées.

2. *Microscope électronique à transmission.* — Les préparations ont été faites selon deux modes : dans un cas, les particules sont simplement sédimentées sur le support; dans l'autre, elles sont incluses dans une résine, puis coupées à l'ultramicrotome en tranches très fines (500 Å environ).

(a) Dans les particules sédimentées, la transformation des frustules se traduit par l'enrobage des fragments de squelettes siliceux dans un voile de feuillet fins (fig. 3) et par l'apparition d'alvéoles de corrosion, où se développent des amas de feuillet (fig. 4).

(b) En coupe, les frustules sains (fig. 5) sont caractérisés par des bords francs et une texture en écaille. Chaque écaille est elle-même homogène, sans microtexture apparente. La texture en écaille pourrait n'être qu'un artefact dû au passage du couteau lors de la coupe [2]. Au cœur des particules en voie de transformation (fig. 6), subsistent encore des noyaux de silice organique avec leur texture caractéristique. Ces restes de squelettes siliceux sont noyés dans un réseau irrégulier et grumeleux, au sein et surtout à la périphérie



duquel apparaissent des domaines finement striés, de l'ordre du dixième à quelques dixièmes de microns. Certaines particules plus évoluées (*fig. 7*) ne contiennent plus de silice organique reconnaissable; les domaines striés y sont plus développés, tandis que le réseau grumeleux est plus réduit.

II. ÉTUDE MINÉRALOGIQUE ET CHIMIQUE DE LA SILICE ET DES PRODUITS FORMÉS. —

1. *Microdiffraction électronique*. — Des diagrammes de microdiffraction électronique ont été obtenus sur les parties planes des feuillets fins, observés à fort grossissement en bordure des particules sédimentées. Ce sont des diagrammes de points répartis suivant un réseau hexagonal, compatibles avec les réflexions $hk0$ d'une argile dont les distances réticulaires seraient $d_{020} = 4,5$, $d_{200} = 2,6$, $d_{060} = 1,53$ Å. Par contre, on n'a pas réussi à obtenir de réflexions de type 001 basales sur les feuillets se présentant par la tranche.

2. *Microscopie en fond noir* ([3], [4], [5]). — La silice organique réagit en fond noir comme un produit amorphe. Les domaines finement striés passent par une illumination maximale (*fig. 8*), lorsque un diaphragme d'objectif de $0,13$ Å⁻¹ dans le plan réciproque est centré entre $0,1$ et $0,08$ Å⁻¹ dans ce plan, ce qui correspond à une valeur de l'équidistance des plans réflecteurs comprise entre 10 et 12 Å. Ces données sont compatibles avec la réflexion 001 d'une smectite dont les feuillets seraient alors parallèles au faisceau incident.

3. *Analyse élémentaire de particules isolées*. — Des analyses semi-quantitatives ont été effectuées, grâce à un spectromètre à dispersion d'énergie équipant un microscope électronique à balayage, sur des amas de feuillets préalablement repérés au microscope électronique à transmission. A partir du comptage des impulsions reçues par le spectromètre, les résultats ont été convertis en pourcentages au moyen de la relation suivante :

$$E = \frac{k I_E}{\sum_i k_i I_{E_i}} \times 100,$$

où I_E est l'intensité de la raie de fluorescence X correspondant à l'élément E et k un coefficient établi pour chaque élément, par un étalonnage préalable à partir de minéraux

EXPLICATION DE LA PLANCHE

Observations morphologiques au microscope à balayage.

Fig. 1. — Frustule de Diatomées non altéré.

Fig. 2. — Frustule en voie de transformation.

Observations morphologiques au microscope électronique à transmission.

Fig. 3. — Frustule recouvert d'un voile à feuillets fins.

Fig. 4. — Squelette de Diatomée présentant des alvéoles de corrosion garnies d'amas de feuillets.

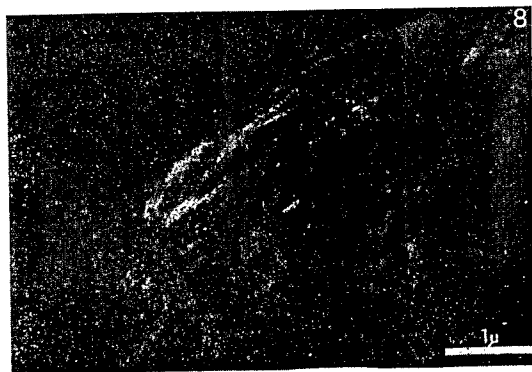
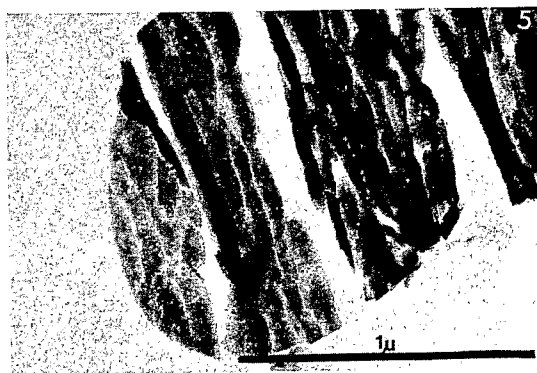
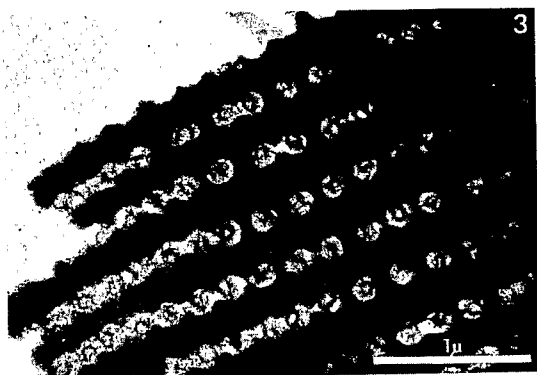
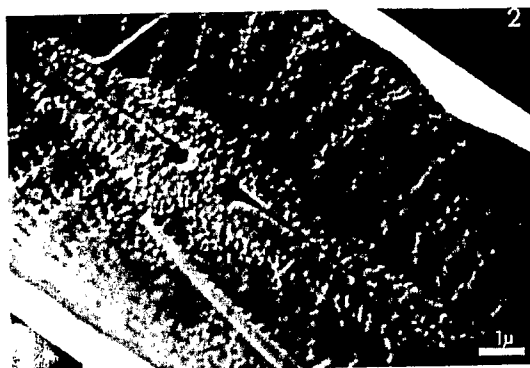
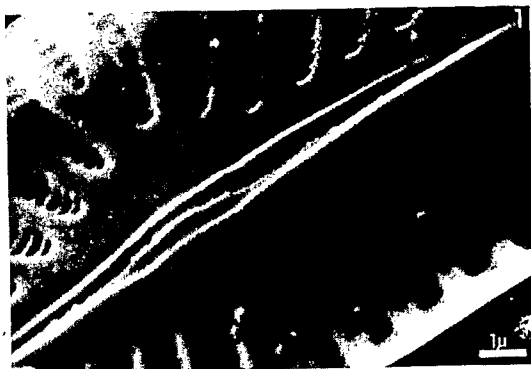
Étude de coupes ultrafines au microscope électronique à transmission.

Fig. 5. — Coupe des frustules sains à bords francs et texture en écaille.

Fig. 6. — Coupe de squelette en voie de transformation : (a) noyau de silice organique; (b) réseau grumeleux; (c) domaines finement striés.

Fig. 7. — Stade ultime de la transformation : il n'y a plus de silice organique reconnaissable.

Fig. 8. — Image en fond noir de la particule présentée sur la figure 7 (le diaphragme de $0,13$ Å⁻¹ est centré sur $0,1$ Å⁻¹).



phylliteux de composition connue et proche de celle du minéral étudié. Des fragments de frustules sains ont été analysés d'une manière analogue.

Seuls les pourcentages en éléments majeurs sont présentés sur le tableau. A titre de comparaison, des analyses de minéraux types [6], corrigées de la perte au feu, sont données dans les deux premières colonnes du tableau.

TABLEAU
Analyse élémentaire de particules isolées,
de fragments de frustules sains et de minéraux argileux types [6]

	Steven- site	Sapo- nite	Amas de feuillets					Frustules sains	
SiO ₂	65,84	61,79	70	70,8	68	76	76	97	97,7
Al ₂ O ₃ ..	1,74	4,77	3,8	2,7	8,5	7,4	5,5	1,8	2,3
Fe ₂ O ₃	1,10	1,9	4,1	4,5	4,5	4	3,6	0,0	0,0
MgO.....	29,15	24,38	21	21,4	17,4	12,4	13,1	0,7	0,8
CaO.....	0,45	0,3	0,4	0,2	0,4	0,1	0,5	—	
K ₂ O.....	—	1,12	0,3	0,1	0,9	0,1	0,2	0,2	0,2

La composition chimique des particules les rapproche du groupe des saponites-stevensites; on note souvent un important excès de silice qui peut très bien s'expliquer par la présence, au sein des particules, de reliquats de silice organique, comme on l'a observé en coupe. L'analyse de fragments de frustules sains montre que ces squelettes contiennent toujours une certaine proportion d'aluminium.

CONCLUSION. — Le nourrissage de néoformations argileuses, utilisant la silice des frustules de Diatomées a déjà été mis en évidence [7], mais le support de la néoformation était la surface de particules de cendres volcaniques. Ici, c'est le têt lui-même qui sert de germe : il fournit le silicium et peut-être aussi une partie de l'aluminium.

De plus, le phénomène est très rapide. A peine amorcé, dans le premier millimètre du dépôt, il se développe intensément dans le premier centimètre. Il a été écrit [8] que la silice est « mise en banque dans les têts siliceux, et peut de nouveau être mobilisée après leur mort ». On surprend ici, d'une manière fugace, un mécanisme non négligeable d'argilogenèse dans les sédiments, à partir des têts siliceux. Il doit être recherché systématiquement.

(*) Remise le 10 décembre 1979.

[1] F. RISACHER, *Cah. O.R.S.T.O.M.*, sér. Géologie, 10, 1978, p. 37-48.

[2] D. AUGUIE, *Thèse*, Orléans, 1979, 182 p.

[3] J. P. EBERHART, *Méthodes physiques d'étude des minéraux et des matériaux solides*, Doin, Paris, 1976, 508 p.

[4] A. OBERLIN, *Carbon*, 17, 1979, p. 7-20.

[5] J. L. BOULMIER, *Thèse*, Orléans, C.N.R.S., AO 127, 48, 1976, 199 p.

[6] N. TRAUTH, *Thèse*, Strasbourg, 1974, 309 p. et *Sc. Géol. Mém.*, 49, 1977, 195 p.

[7] H. CHAMLEY et G. MILLOT, *Comptes rendus*, 274, série D, 1972, p. 1657.

[8] G. MILLOT, *La Géologie des argiles*, Masson, Paris, 1964, 499 p.

D.B., H.P. et F.W. : *Centre de Sédimentologie et Géochimie de la Surface*,
Institut de Géologie, 1, rue Blessig, 67084 Strasbourg Cedex.

F.R. : *Mission O.R.S.T.O.M. en Bolivie*,
Cajon Postal 8714, La Paz, Bolivie.

J.P.E. : *Laboratoire de Cristallographie, Minéralogie et Pétrographie*,
1, rue Blessig, 67084 Strasbourg Cedex.