

Silicates sodiques néoformés comme marqueurs des
environnements hydrochimiques et climatiques

Par Gilbert MAGLIONE

Maître de Recherches, O.R.S.T.O.M. BP 1386
Dakar-Hann, Sénégal.

Paysages arides, milieux confinés dans lesquels les pertes hydriques excèdent les apports abondent d'exemples de silicifications. Une revue exhaustive en a été fournie par MILLOT (1) : elle montre qu'à un confinement croissant du milieu (= concentration croissante des solutions mères) correspond un désordre croissant des cristallisations (quartz \rightarrow calcédoine \rightarrow opale).

Dans les milieux évaporatoires alcalins (lacs clos, nappes phréatiques), domaine des solutions très enrichies en silice réactive, la littérature récente (2, 3, 4, 5, 6) a attiré notre attention sur la néoformation de divers hydrosilicates sodiques : magadiite ($\text{NaSi}_7\text{O}_{13}(\text{OH})_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), kenyaite ($\text{NaSi}_{11}\text{O}_{20,5}(\text{OH})_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), makatite ($\text{NaSi}_2\text{O}_3(\text{OH})_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) et kanemite ($\text{NaHSi}_2\text{O}_4(\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) dont le comportement les apparente aux minéraux argileux.

1 - Mécanismes génétiques et conditions de stabilité thermodynamique des silicates alcalins -

Les conditions de genèse de la magadiite et de la kanemite sont bien connues.

La magadiite se présente sous deux faciès dans les différents sites où elle a été signalée :

- un faciès syngénétique, consistant en une alternance de lits continus de magadiite séparés par des lits d'argile lacustre plus ou moins diatomitique. Il s'agit là d'une précipitation chimique dans un lac confiné alcalin (2, 3). C'est le cas de la magadiite du lac Magadi, Kenya et d'une partie de celle des interdunes de la cuvette tchadienne.

- un faciès diagenétique précoce. Elle se présente alors sous forme de concrétions dans les profils dont la nappe phréatique, subaffleurante et alcaline, est soumise à une intense évaporation capillaire. C'est le cas de la magadiite qui se néoforme actuellement dans les interdunes du Kanem (3) et vraisemblablement de celle du lac Alkali, Oregon (7).

La mise en place de la kanemite relève également de processus capillaires (6).

(1) G. MILLOT, Masson et Cie, 1964, 499 p.

(2) H. P. EUGSTER, Science, 157, 1967, p. 1177-1180.

(3) G. MAGLIONE, Bull. Serv. Carte géol. Als. Lorr., 23,4,1970, p. 177-189.

(4) G. MAGLIONE et M. SERVANT, C.R. Acad. Sc. Paris, 277, 1973, p. 1721-1724.

(5) R. A. SHEPPARD, A. J. GUDE et R. L. HAY, Amer. Mineral., 55, 1970, p. 358-366.

(6) Z. JOHAN et G. MAGLIONE, Bull. Soc. Fr. Mineral. Cristallogr., 95, 1972, p. 371-382.

(7) T. P. ROONEY, B. F. JONES et J. T. NEAL, Amer. Mineral., 54, 1969, p. 1034-1043.

19 DEC. 1975
O. R. S. T. O. M.
Collection de Références

n° 7920 Geol.

Dans les deux cas, l'évaporation est le moteur des phénomènes, directe dans le cas des lacs, capillaire dans celui d'une nappe phréatique. L'excédent évaporatoire joint au modelé des milieux de dépôt conduit à un confinement extrême des solutions. Les pH alcalins sont de règle.

Les constantes thermodynamiques des quatre hydrosilicates ont été déterminées entre 25° et 60°C (8, 9). Leur solubilité est schématisée dans la figure en fonction du pH et de a_{SiO_2} .

Les données obtenues indiquent que ces minéraux sont stables dans des eaux alcalines, riches en sodium et en silice. Elles montrent en outre que ces silicates ne sont pas stables dans l'eau de mer. Toutefois, un accroissement de l'activité de la silice à une valeur de $10^{-3,2}$ pour un rapport a_{Na^+}/a_{H^+} semblable à celui de l'eau marine fournit un milieu de stabilité pour la magadiite (8). Un tel environnement est fréquent dans les eaux interstitielles des sédiments marins actuels.

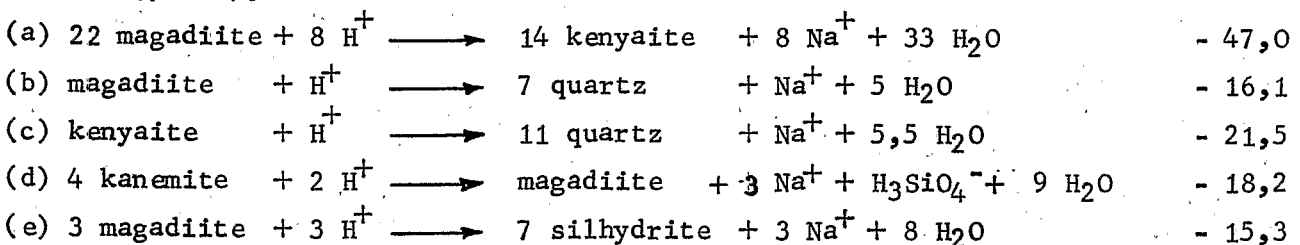
Cependant, à la lumière des données acquises dans la cuvette tchadienne, on peut penser que les milieux chlorurés et sulfatés sodiques ne développent pas une alcalinité suffisante. Le milieu carbonaté sodique apparaît comme une condition nécessaire à la néoformation de ces silicates.

2. La transformation en cherts -

Seule la transformation de la magadiite en chert a pu être démontrée, avec la kenyaite comme stade intermédiaire au lac Magadi (2) et dans le bassin de Kafra au Niger (4).

Au laboratoire, la kanemite montre une dissolution incongruente entre 25° et 60°C (9) et se transforme en magadiite. Plus récemment, il a été montré que la magadiite de Trinity County, Californie s'altère en une silice hydratée cristallisée, la silhydrite, $3 SiO_2 \cdot H_2O$ par percolation des eaux de surface (10). Avec le temps, cette silice doit évoluer vers un chert.

Les transformations reconnues à ce jour peuvent être exprimées par les réactions suivantes qui présentent des énergies libres fortement négatives (en Kcal./mole).



Ces conversions sont le plus facilement réalisées par une baisse du pH ou de l'activité de l'ion sodium, c'est-à-dire par une dilution des saumures. Elles peuvent également s'accomplir par une chute de l'activité de H₂O, c'est-à-dire par une augmentation de la concentration (11). L'effet en est cependant très minime, comparé à celui induit par une dilution.

D'après l'exemple du lac Magadi on peut penser (2) que le temps nécessaire à ces transformations n'excède pas quelques siècles. Protégés des eaux de percolation en climat sub-aride, ces silicates peuvent rester stables plus longtemps.

(8) O. P. BRICKER, Amer. Mineral., 54, 1969, p. 1026-1033.

(9) G. MAGLIONE et M. H. MAGLIONE, Sci. Géol., Bull., 25, 4, 1972, p. 231-250.

(10) A. J. GUDE et R. A. SHERPPARD, Amer. Mineral., 57, 1972, p. 1053-1065.

(11) J. R. O'NEILL et R. L. HAY, Earth and Plan. Sc. Letters, 19, 1973, p. 257-266.

Les cherts trouvant leur origine dans un précurseur silicaté sodique présentent des figures caractéristiques (2, 12) et apparemment spécifiques de deux origines.

- celles dues à la déformation d'un sédiment mou, héritées du stade silicaté sodique : microplis, empreintes de mud-cracks sus-jacents, formes d'extrusion, empreintes de cristaux (gaylussite, trona).

- celles dues au changement de volume qui accompagne la transformation de l'hydrosilicate en chert (d'au moins 25 % pour la magadiite) : fissures de dessiccation polygonales, réticulation...

Ces figures ne semblent pas avoir été observées dans les cherts formés à partir de boue siliceuse ou par voie organique (12).

3. Principaux gisements de cherts issus de silicates sodiques -

Une revue récente en a été présentée (12) concernant les seules formations sédimentaires du Wyoming. Des cherts attribuables à des précurseurs silicatés sodiques de type magadiite ont été reconnus depuis le Jurassique jusqu'au Pléistocène dans onze localités différentes. En Californie, nous citons pour mémoire la silhydrite, issue de la magadiite de Trinity County (10).

En Afrique, en dehors du lac Magadi (2), il convient de citer les cherts du lac Natron (Shombole et Peninj Groups), des Gorges d'Olduvai en Tanzanie (13), du bassin de Kafra au Niger (4).

Enfin avec de grandes probabilités, on peut penser que les cherts du Quaternaire récent d'Agadem (14), de Bilma (15) au Niger, de la dépression de Makarikari dans le nord Bostwana (16) et du Tafaritien de l'Oued Oumm-Krâ en Mauritanie (17) représentent le terme ultime de ces transformations.

4. Conséquences paléosédimentologiques -

La mise en évidence de silicates sodiques constitue un indicateur précis du milieu hydrochimique. Elle implique la présence d'une nappe d'eau, lacustre ou phréatique, soumise à de fortes conditions évaporatoires et présentant un caractère alcalin très accusé.

L'identification de cherts de type silicaté sodique, outre ces indications, apporte la preuve que l'environnement géochimique a enregistré des changements majeurs, postérieurement à la mise en place des précurseurs silicatés sodiques.

Le cas du bassin de Kafra (4) illustre bien ces variations hydrologiques et hydrochimiques induites par un changement radical des conditions climatiques. Cette dépression (lat. 19° 03' Nord, long. 20° 20' Est) est tapissée de sédiments lacustres holocènes d'une puissance de 25 m. Ils comprennent deux bancs de diatomites litées, séparées par une surface de ravinement ou par des dépôts remaniés. Ceux-ci correspondent à un abaissement momentané du plan d'eau lacustre à la faveur d'une phase climatique sèche, reconnue et datée de 7500 ans BP dans de nombreuses régions du Niger et du Tchad (15). Il est probable que la cuvette de Kafra s'est alors complètement asséchée.

(12) R. C. SURDAM, H. P. EUGSTER et R. H. MARINER, Geol. Soc. Amer. Bull., 83, 1972, p. 2261-2266.

(13) R. L. HAY, Contrib. Mineral. Petrology, 17, 1968, p. 255-274.

(14) H. FAURE, Thèse, Paris, 1962.

(15) M. SERVANT, Thèse, Paris - VI, 1973.

(16) D. SMALE, Trans. Geol. Soc. South Africa, LXXI, 2, 1964, p. 147-152.

(17) L. HEBRARD, Thèse, Lyon, 1973.

La diatomite inférieure présente un aspect plissoté, bréchique et au sommet un débit prismatique; elle contient de nombreux nodules constitués d'un mélange de magadiite, de kenyaite et de quartz. On les retrouve au pied des affleurements, mais ils sont alors composés uniquement de kenyaite et de quartz.

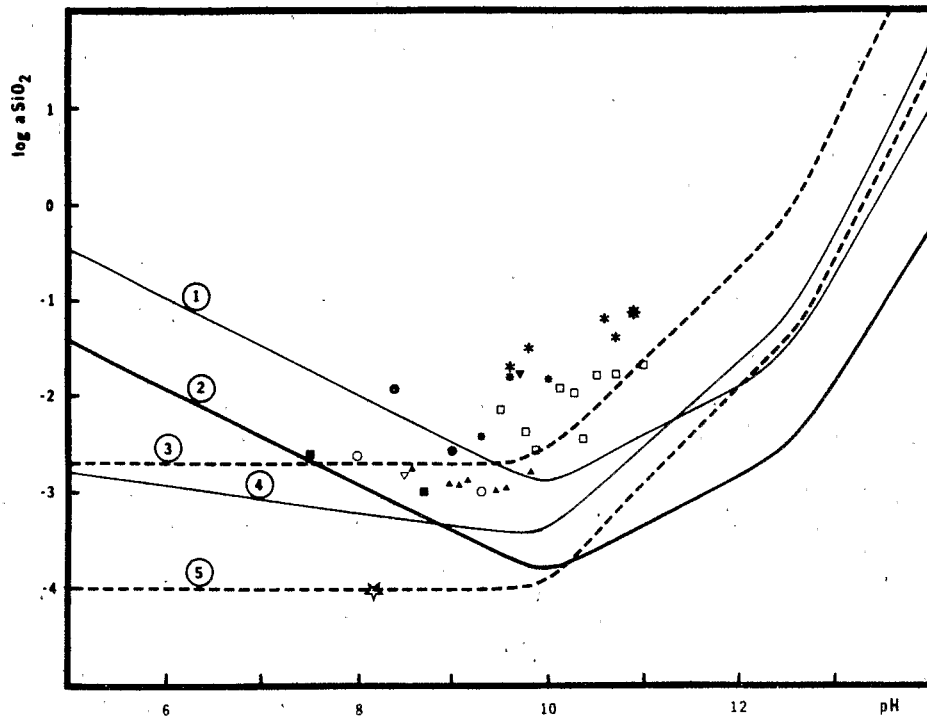
Les nodules correspondent au faciès "diagénétique précoce", conséquence d'une évaporation capillaire qui a du connaître son plein développement peu après l'exondation des dépôts diatomitiques vers 7500 ans BP.

Il est probable que les nodules, à l'origine constitués de magadiite pure, se sont transformés par "lessivage" en kenyaite puis en chert au cours des périodes humides postérieures à 7500 ans BP. La désertification qui s'est affirmée depuis le dernier millénaire a bloqué ou retardé la transformation dans les nodules non dégagés par l'érosion de leur matrice argilo-diatomitique. Elle a par contre été plus complète dans les nodules mieux exposés à l'action directe des pluies.

5. Conclusions -

Les hydrosilicates sodiques ne semblent pas avoir une stabilité suffisante pour résister bien longtemps aux diverses fluctuations hydrologiques, géochimiques et climatiques qu'un sédiment enregistre après son dépôt. Cependant dans les zones climatiques charnières comme les régions subdésertiques, le caractère tranché des fluctuations rend cet enregistrement possible.

Cette valeur d'indicateur sédimentologique est bien affirmée pour le Quaternaire. D'autres investigations sont nécessaires avant de leur attribuer la même valeur indicatrice pour des périodes plus anciennes.



Courbes de solubilité de la makatite (1), de la kanemite (2), de la silice amorphe (3), de la magadiite (4) et du quartz (5) en fonction de a_{SiO_2} et du pH à 25°C et 1 atm.

▽ Lac Tchad - ▽ Lac interdunaire - ■ Nappe des dunes -
 Saumures carbonatées sodiques - ● Eau interstitielle lac de
 Bodou - ○ Nappe chlorosulfatée sodique - * Saumures du Niger -
 ☆ Eau de mer - ▲ Sources lac Magadi - □ Saumures lac Magadi -
 * Aqua de Ney -

THEME 1

Indicateurs sedimentologiques



IX^{me} CONGRES INTERNATIONAL
DE SEDIMENTOLOGIE
NICE 1975

B 7920