

## LA MAGADIITE, SILICATE SODIQUE DE NÉOFORMATION DES FACIÈS ÉVAPORITIQUES DU KANEM (LITTORAL NORD-EST DU LAC TCHAD)

Gilbert MAGLIONE

Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, Centre de Fort-Lamy (Tchad)\*

RÉSUMÉ. — Des études de terrain et de laboratoire ont montré la présence de magadiite ( $\text{NaSi}_7\text{O}_{13}(\text{OH})_3, 3\text{H}_2\text{O}$ ) dans les sédiments argileux des dépressions interdunaires du Kanem (bordure septentrionale du lac Tchad). Ce silicate sodique a été mis en évidence dans les dépressions où se développe (ou a pu se développer) un milieu confiné carbonaté sodique par remontées capillaires à partir d'une nappe phréatique peu profonde. Il se présente sous deux faciès, en lits interstratifiés et en nodules épars au sein d'une trame argileuse.

Trois mécanismes génétiques sont tour à tour envisagés. — 1. Précipitation chimique par évaporation des saumures alcalines des lacs interdunaires résiduels. 2. Précipitation chimique, après hydrolyse et remobilisation de la silice des lits diatomitiques du sédiment originel. — 3. Précipitation chimique de la silice dissoute dans la nappe par évaporation capillaire.

Ce dernier mécanisme, responsable de la mise en place des concrétions de magadiite, semble se poursuivre actuellement dans les dépressions exploitées en salines, dans lesquelles la nappe présente des concentrations en silice soluble allant jusqu'à 2 000 mg/l.

Deux nouvelles espèces de silicates sodiques hydratés ont été récemment décrites par EUGSTER (1967). Il s'agit de la magadiite ( $\text{NaSi}_7\text{O}_{13}(\text{OH})_3, 3\text{H}_2\text{O}$ ) et de la kenyaite ( $\text{NaSi}_{11}\text{O}_{20,5}(\text{OH})_4, 3\text{H}_2\text{O}$ ) ; elles ont été identifiées pour la première fois au lac Magadi (Kenya), interstratifiées dans les séries argileuses du Quaternaire récent. Par la suite, la magadiite a été signalée en Californie (MAC ATEE et al., 1968), au lac Alkali, Oregon (ROONEY et al., 1969) et dans diverses formations lacustres de l'Est Africain (HAY, 1968).

Sur la bordure septentrionale du lac Tchad (Kanem), la magadiite se présente sous deux faciès en lits interstratifiés ou bien en concrétions, sous forme de nodules épars dans les argiles lacustres des dépressions interdunaires. Mis en évidence dans la plupart des

\* Adresse actuelle : Department of Earth and Planetary Sciences, The Johns Hopkins University, Baltimore 21 218, Maryland, U. S. A.

18 AOÛT 1971  
O. R. S. T. O. M.  
Collection de Référence  
n° 4927

salines actuellement exploitées, ce silicate sodique n'a pas été identifié dans les dépressions interdunaires à nappe profonde, où seuls des nodules et lits de silice amorphe ont été signalés (SERVANT, 1970).

## I. — SITUATION GÉOGRAPHIQUE ET GÉOLOGIQUE

La situation géographique et géologique des salines du Kanem a été décrite dans une note précédente (MAGLIONE, 1968). Il nous suffira d'en rappeler les grands traits.

Le littoral septentrional du lac Tchad (fig. 1) correspond à un erg quaternaire fixé, orienté NNW-SSE. Au cours d'une phase d'extension lacustre holocène (SERVANT, 1970) les dépressions interdunaires ont piégé des sédiments fins argilo-diatomitiques.

Le climat actuel est subdésertique avec une pluviosité annuelle de 250 mm, une température moyenne de 28 °C, une hygrométrie de 38 % et une évaporation potentielle annuelle de 2 200 mm. De telles conditions climatiques, jointes à la présence de sédiments argileux et d'une nappe phréatique peu profonde, favorisent et entretiennent d'intenses remontées capillaires.

Latéralement et verticalement les solutions se concentrent et conduisent à une zonation dans le dépôt des sels. *Calcite*, *gaylussite*, *nahcolite*, *trona*, *halite*, *natron* et *thermonatrite* se retrouvent ainsi associés à la magadiite dans les boues argileuses au-dessus de la nappe phréatique, carbonatée sodique.

## II. — DESCRIPTION DE LA MAGADIITE DANS LES PROFILS

Une coupe type, relevée dans la saline de Liwa, rend compte des relations de la magadiite avec les argiles encaissantes.

- 0-10 cm : croûte saline, craquelée et pulvérulente au contact de l'argile sous-jacente humide. Les rayons X révèlent un mélange intime de quartz, de trona et de halite.
- 11-90 cm : argile vert sombre alternant avec des lits ondulés (1 à 5 cm) et avec des bancs massifs (5 à 15 cm) de magadiite poudreuse et plastique. A l'intérieur des lits et des bancs, un microlitage millimétrique apparaît, souligné par des lits d'argile ou de matière organique (Pl. h.-t., 1).
- 91-92 cm : lit continu de magadiite indurée, nacré.
- 93-120 cm : argile marron à taches vertes, très plastique.
- 121-126 cm : argile noir bronze, gros cristaux de gaylussite maclés en rameaux, très abondants.
- 127-220 cm : argile noire, à forte odeur d'H<sub>2</sub>S.

En lits ou en bancs continus, la magadiite se présente sous forme d'une pâte blanche, très plastique. Elle apparaît également en concrétions ovoïdes discontinues mais disposées en bancs subhorizontaux; elle peut alors être indurée avec un cortex mamelonné, craquelé, gris et une masse centrale blanche porcelanée, très dure. A l'intérieur des lits de magadiite

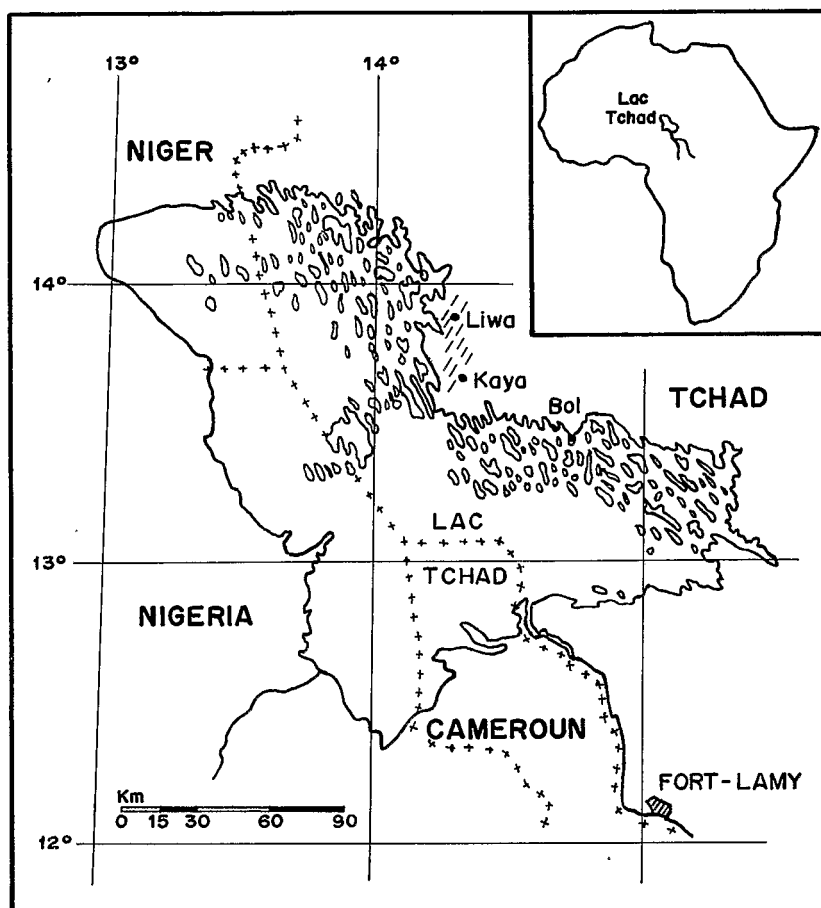


Fig. 1. — Carte de situation des salines étudiées

poudreuse et dans le cortex des concrétions, on remarque des agrégats microcristallins noirs de calcite qui remplissent des empreintes de cristaux de gaylussite, dont certains sont encore présents, mais corrodés (pseudomorphoses).

Dans la moitié supérieure du profil, apparaissent sans aucune stratification des amas ovoïdes, poudreux ou indurés de magadiïte; certains englobent des agrégats polycristallins de nahcolite, trona, calcite ou gaylussite. Une des concrétions se présente perpendiculairement à la stratification que l'on observe à l'intérieur même de ce nodule sous un aspect très contourné; le litage argileux réapparaît ensuite régulier au-delà de la concrétion de magadiïte (Pl. h.-t., 2).

La plupart des figures affectant les concrétions de cherts récemment décrites par EUGSTER (1969) au lac Magadi ont été retrouvées : concrétions tubulaires, en couronnes, attribuées par cet auteur à des dégagements gazeux dus à la fermentation de la matière organique, dans un matériau encore plastique; empreintes de cristaux de calcite ou de gaylussite; surfaces mamelonnées, réticulées, craquelées (« mudcracks »). Toutes ces figures résultent de la *compaction et de la dessiccation d'un matériau à l'origine plastique*. Cepen-

dant elles affectent ici des concrétions de magadiïte, alors qu'au Kenya il s'agit de cherts; certaines de ces figures sont d'ailleurs attribuées par EUGSTER (1969) à la contraction qui résulte de la transformation de la magadiïte en chert, dont il a pu observer les étapes au lac Magadi et qui implique un retrait d'au moins 25 %.

TABLEAU I  
*Comparaison des analyses chimiques de la magadiïte  
des lacs Magadi et Alkali et du Kanem*

Oxyde % poids sec	1. Magadiïte du lac Magadi.	2. Magadiïte du lac Alkali.	3. Magadiïte du Kanem.
SiO <sub>2</sub>	77,62	77,50	78,00
TiO <sub>2</sub>	0,06	0,02	0,10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,79	0,44	0,40
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,55	0,00	0,10
MnO	0,01	0,00	Tr.
MgO	0,26	0,50	0,10
CaO	0,14	0,12	0,30
Na <sub>2</sub> O	5,55	5,00	5,57
K <sub>2</sub> O	0,35	0,26	0,56
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	—	—	—
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	5,28	4,40	5,01
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	9,32	10,10	8,85

1. Echantillon H. P. EUGSTER; analyse O. von KNORRING

2. Echantillon J. T. NEAL; analyse L. N. SHAPIRO

3. Echantillon G. MAGLIONE; analyse B. R. G. M., Orléans

### III. — DONNÉES ANALYTIQUES

Toutes les données analytiques (analyse chimique, analyse thermique différentielle, spectrométrie infra-rouge et microscopie électronique) ont confirmé la diagnose de la magadiïte; elles n'ont pas mis en évidence de kenyaïte, ni de chert.

#### 1. Analyse chimique

La composition chimique de la magadiïte du Kanem est donnée dans le tableau I, ainsi que celles du lac Magadi et du lac Alkali pour comparaisons. L'accord avec l'analyse chimique de la magadiïte type du Kenya est bon.

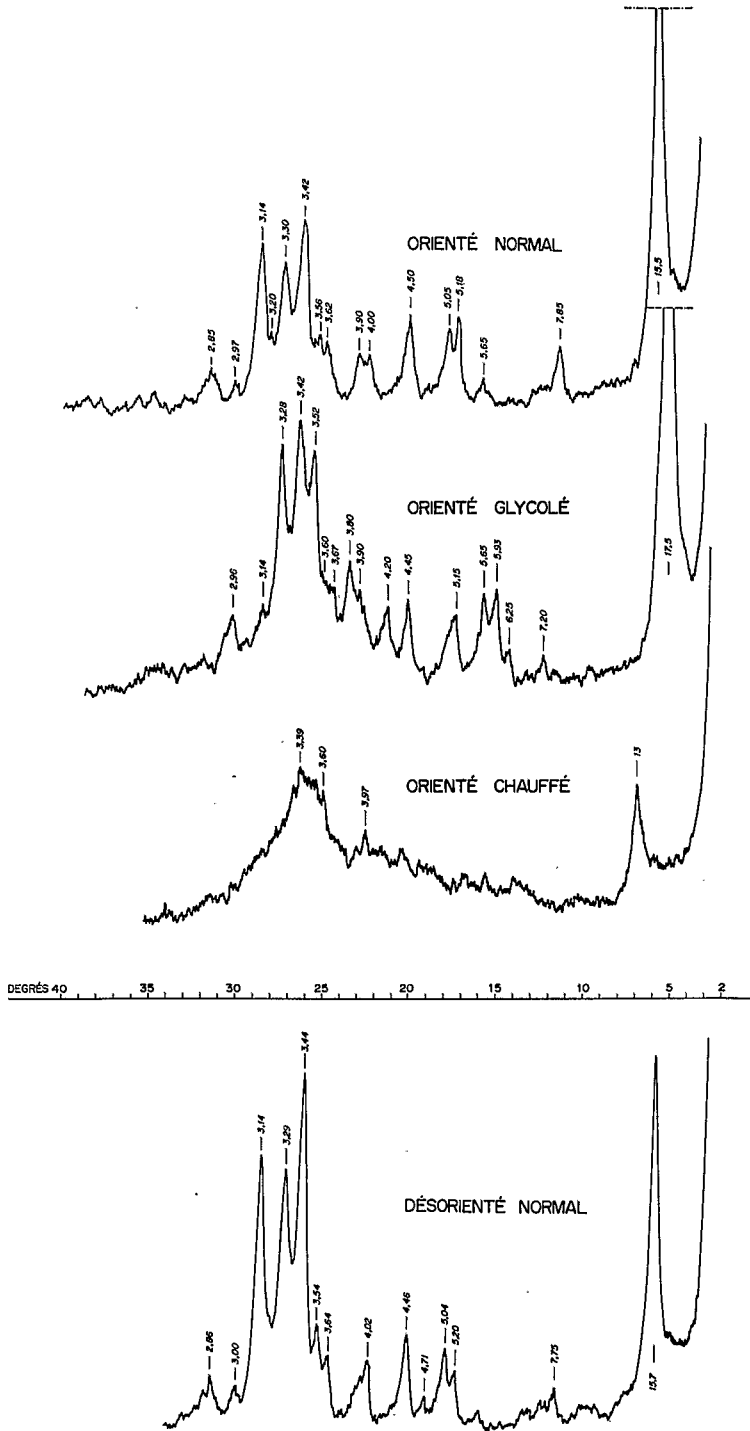


Fig. 2. — Diagrammes de diffraction des rayons X (Cu K $\alpha$ ) sur lame orientée ou sur poudre désorientée

## 2. Diffractométrie des rayons X

La figure 2 correspond aux diffractogrammes X d'un échantillon de magadiite du faciès lité. Comme pour les échantillons provenant des autres localités, les diagrammes orienté normal et désorienté se caractérisent par une intense réflexion à 15,5 Å, comportement qui suggère une structure en feuillets expansibles (EUGSTER, 1967; ROONEY et al., 1969). Au cours du chauffage, le pic à 15,5 Å se déplace vers 14 Å. A 500 °C l'échantillon se transforme en quartz cristolabite. A 700 °C EUGSTER (1967) indique du quartz et de la tridymite.

## 3. Analyse thermique différentielle

La courbe d'analyse thermique différentielle a été obtenue par chauffage jusqu'à 900 °C (fig. 3). On remarque deux importants pics endothermiques aux environs de 150 °C et 190 °C qui correspondent à la déshydratation du produit et peut-être à la perte d'une certaine quantité d'oxydyles. A 210 °C, un léger pic exothermique déjà remarqué par ROONEY *et al.* (1969) doit correspondre à la destruction d'impuretés carbonatées. Le pic exothermique important qui débute à 695 °C provient de l'effondrement de la structure et de la réorganisation en une nouvelle phase.

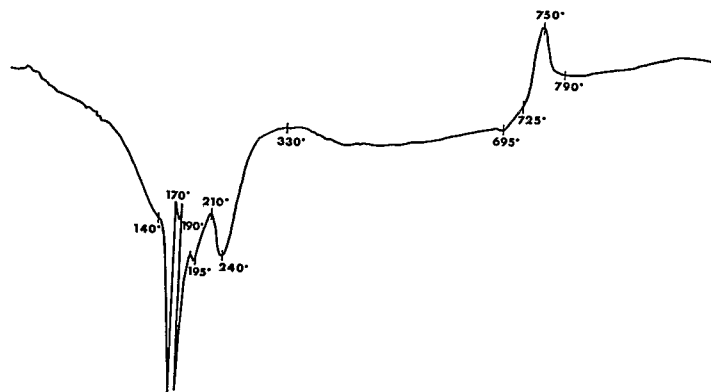


FIG. 3. — Courbe obtenue par analyse thermique différentielle de la magadiite

## 4. Spectrométrie infra-rouge

Le spectre infra-rouge (fig. 4) a été effectué entre 2,5 et 25 microns à l'aide d'un spectrographe Perkin-Elmer 337 sur échantillon broyé et après pastillage au KBr. Entre 3 700 et 3 300  $\text{cm}^{-1}$ , on observe la bande de vibration des groupes oxydyles avec deux composantes à 3 650 et 3 450  $\text{cm}^{-1}$ ; la bande de déformation de  $\text{H}_2\text{O}$ , commune à tous les miné-

raux hydratés, se situe vers  $1\,650\text{ cm}^{-1}$ , tandis que les crochets à  $1\,070$  et  $450\text{ cm}^{-1}$  correspondent aux bandes de vibration de valence Si-O (ALEXANIAN *et al.*, 1966; RODNEY *et al.*, 1969).

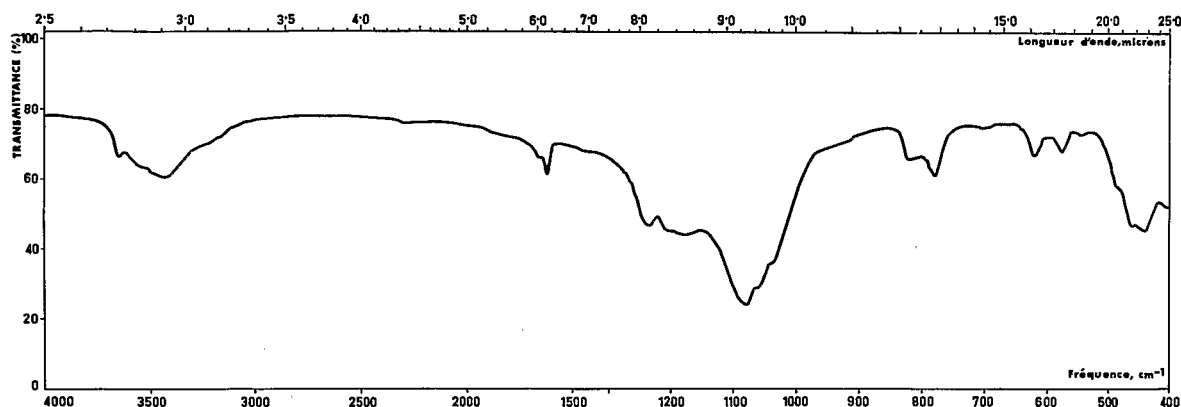


FIG. 4. — Spectre infra-rouge de la magadiite

## 5. Microscopie électronique

La figure 3 de la planche hors-texte représente une photo réalisée au microscope électronique par MM. WEBER et TARDY (Centre de Recherches de Sédimentologie et de Géochimie de la Surface de Strasbourg) que je remercie ici. On distingue nettement les cristaux carrés de magadiite, avec un début d'enroulement sur les bordures; il n'a pas été possible d'obtenir de cliché de diffraction électronique, un tel cliché a par ailleurs déjà été publié par MAC ATEE *et al.* (1968).

## IV. — MÉCANISMES GÉNÉTIQUES

L'interprétation de la mise en place des paragenèses salines du Kanem est rendue difficile par le fait que *nous observons actuellement la résultante de deux processus.*

— Une différenciation à la fois verticale et latérale par précipitation chimique à partir des saumures lors de l'assèchement des lacs interdunaires; les différents minéraux se sont alors disposés latéralement des bords vers le centre et de bas en haut au centre des cuvettes, par ordre de solubilité croissante.

— Une zonation plus anarchique, correspondant à des cristallisations par remontées capillaires à partir de la nappe phréatique peu profonde. Les minéraux se sont également distribués de bas en haut et latéralement selon le sens de circulation des eaux mères.

Un autre fait vient encore compliquer les observations; ce sont les fluctuations à l'échelle pluriannuelle des conditions hydrogéologiques qui régissent la dynamique des sels solu-

bles dans ces dépressions interdunaires. De telles fluctuations (baisse ou remontée du niveau de la nappe phréatique en relation plus ou moins directe avec les variations interannuelles de niveau du lac Tchad) n'ont respecté que la distribution des minéraux les moins solubles, elles ont par contre redissous les lits ou concrétions d'évaporites les plus solubles.

Trois mécanismes génétiques sont à envisager :

### **1. Précipitation chimique directe par évaporation des saumures alcalines des lacs interdunaires résiduels**

A ce mécanisme peuvent être attribués les lits de monocristaux de gaylussite, dépourvus d'impuretés et non maclés; ils sont disposés à plat selon leur face la plus allongée sur de fins lits sableux et respectent la stratification. La finesse des cristaux, leur pureté, semblent montrer qu'il s'agit d'un dépôt primaire par précipitation chimique à partir de solutions non sursaturées, vraisemblablement sous une faible lame d'eau; les lits sableux correspondraient à un saupoudrage éolien depuis les dunes environnantes.

Les lits de magadiïte (plastique ou indurée), interstratifiés dans les argiles et qui viennent également se terminer en biseau sur les flancs des dépressions (où ils sont alors affectés d'un pendage de dépôt), seraient justiciables d'une mise en place analogue. Ils sont finement lités, notamment les plus épais d'entre eux; les microlits de 0,5 à 2 mm d'épaisseur sont séparés par de fins lits argileux ou de matière organique noire. Ils épousent les ondulations des argiles encaissantes et remplissent parfois d'anciennes fentes de dessiccation.

Cette disposition qui présente de grandes similitudes avec celle de la magadiïte du lac Magadi pourrait alors se concevoir selon une mise en place analogue à celle décrite par EUGSTER (1969). Il s'agirait d'un précipité chimique à partir de saumures alcalines enrichies en silice par évaporation, dont la dilution par des pluies saisonnières et la production de CO<sub>2</sub> due à la fermentation de la matière organique produirait un abaissement de pH conduisant à la saturation vis-à-vis de la magadiïte qui précipiterait.

Dans le cas du Kanem, ce caractère sédimentaire des lits ou bancs continus semble attesté par une étude succincte des Diatomées fossiles qui nous renseignent sur les conditions de salinité du milieu de sédimentation. La base de la coupe renferme un grand nombre de Diatomées halophiles, associées à quelques espèces épiphytes; cette association indique un petit lac d'affleurement de nappe, peu profond (1 à 2 m), relativement minéralisé, mais permettant encore le développement d'une ceinture végétale (présence de phytolithaires). En s'élevant dans la coupe, les épiphytes disparaissent tandis que les espèces halophiles diminuent pour disparaître totalement au niveau des lits de magadiïte, témoignant vraisemblablement d'une élévation de salure du milieu. Notons d'autre part que les lacs interdunaires actuels du Kanem les plus minéralisés présentent des teneurs en silice allant jusqu'à 500 mg/l (MAGLIONE, 1969).

### **2. Néoformation après hydrolyse en milieu carbonaté sodique des lits diatomitiques du sédiment lacustre originel**

Cette hypothèse pour laquelle les arguments positifs ou négatifs concluants manquent encore pourrait également rendre compte de la disposition litée de la magadiïte. L'établis-



sement dans certaines dépressions interdunaires d'un milieu carbonaté sodique, fortement hydrolysant, aurait amené par remontées capillaires la dissolution des interlits diatomiques des argiles lacustres et la réorganisation de cette silice ainsi libérée sous forme de magadiite. Le litage sédimentaire aurait ainsi été respecté.

On pourrait alors attribuer à cette mise en place une origine en quelque sorte pédogénétique présentant des analogies avec la néoformation d'analcime dans différents sols carbonatés sodiques (BALDAR et WHITTIG, 1968; FRANKART et HERBILLON, 1969). Ce mécanisme pourrait expliquer la liaison qui existe entre la présence de magadiite et développement d'un milieu carbonaté sodique actuel ainsi que l'absence de ce silicate dans les dépressions interdunaires à nappe plus profonde ou à salure sulfatée sodique.

### 3. Précipitation par remontées capillaires à partir d'une nappe phréatique peu profonde, riche en silice

Ce dernier mécanisme qui se continue actuellement dans les salines exploitées est responsable de la mise en place des concrétions salines que l'on retrouve dans la tranche des sédiments depuis la nappe phréatique jusqu'en surface. La distribution verticale des sels est dans ce cas orientée par la structure du matériau; c'est ainsi que les cristaux de gaylussite relevant d'une telle mise en place occupent fréquemment des fentes de dessiccation; ils sont très gros, souvent maclés en rameaux, incluent des impuretés argileuses et ne respectent pas le litage des argiles encaissantes. C'est également le cas des concrétions formées des argiles polycristallines de nahcolite, trona et natron qu'on ne retrouve jamais sous forme de dalle continue.

Les concrétions non stratifiées de magadiite relèvent d'une telle mise en place, comme en témoigne le fait qu'elles emballent fréquemment des cristaux de gaylussite ou de nahcolite ainsi que des lits argileux que l'on peut suivre au-delà, dans le reste de la trame argileuse.

ROONEY *et al.* (1969) suggèrent, d'après leurs observations au lac Alkali, la mise en place de concrétions de magadiite par expulsion des saumures interstitielles lors de la compaction et de la dessiccation des argiles.

Dans les salines actuelles (\*), les parties les plus minéralisées de la nappe présentent des teneurs en  $\text{SiO}_2$  allant jusqu'à 2 000 mg/l. La saturation vis-à-vis de la magadiite dans ces milieux confinés est largement atteinte ( $10^{-10}$  à  $10^{-4}$ ) en se référant à la constante d'équilibre ( $K = 10^{-14,3}$ ) récemment mesurée en laboratoire (BRICKER, 1969). Si l'on retient la valeur de 1 m comme évaporation probable sur nappe faiblement profonde pour une évapotranspiration potentielle régionale de 2 200 mm, de telles eaux déposeraient dans le sol pour une surface de 1  $\text{m}^2$  un poids annuel d'environ 1,3 kg de magadiite. Ce chiffre est nettement compatible avec les énormes quantités de magadiite accumulées sous forme de concrétions depuis que ces milieux subissent un intense régime évaporatoire de type capillaire.

(\*) Une étude de la silice soluble dans les différents milieux du Kanem est en cours avec C. BLANCH, Ingénieur-chimiste au Centre O. R. S. T. O. M. de Fort-Lamy.

REMARQUE. — A titre indicatif, nous donnons ci-dessous le résultat d'une analyse chimique de la nappe de la saline de Liwa en un de ses points les plus minéralisés (en me/l).

$\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} < 0,2$	$\text{Cl}^- = 1\ 000$
$\text{Na}^+ = 5\ 600$	$\text{SO}_4^{2-} = 185$
$\text{K}^+ = 190$	$\text{CO}_3^{2-} = 4\ 380$
	$\text{HCO}_3^- = 180$
$\text{S}^+ = 5\ 790,2$	$\text{S}^- = 5\ 745,0$

pH = 10,30. Conductivité = 98 400  $\mu\text{mhos.cm}^{-1}$ .  $\text{SiO}_2 = 1\ 760\ \text{mg/l}$

### CONCLUSION

Le problème du comportement de la silice et des néoformations silicatées en milieu « confiné basique » est d'importance (MILLOT, 1964); à ce titre les dépressions interdunaires du Kanem peuvent constituer un excellent modèle actuel.

Comme FAURE (1966, 1969) l'avait déjà signalé à propos des oasis nigériennes, le Kanem actuel présente également dans l'espace toutes les conditions hydrologiques qu'une dépression interdunaire a pu connaître dans le temps : lacs de faible profondeur, à gamme de salure très étendue (300 à 100 000  $\mu\text{mhos.cm}^{-1}$ ); cuvettes à nappe plus ou moins profonde, donc à remontées capillaires plus ou moins intenses. D'autre part, la plupart de ces dépressions ont dû connaître à un moment donné de leur histoire des conditions hydrologiques et géochimiques analogues à celles qui affectent les salines de la bordure du lac Tchad, où tout semble indiquer que la néoformation de la magadiite se poursuit actuellement.

On peut alors se demander pour quelles raisons on n'a pas encore mis en évidence de magadiite « sédimentaire » ou « diagénétique » dans les sédiments des dépressions interdunaires à nappe profonde. Dans ses coupes, SERVANT (1970) (\*), signale de fines alternances de lits siliceux amorphes (localement indurés en silex) et de lits argilo-silteux à Diatomées. Peut-être faut-il y voir d'anciens dépôts silicatés sodiques ayant évolué vers une forme minéralogique plus inerte et plus stable par lessivage du sodium par les pluies ou le battement d'une nappe phréatique peu minéralisée. Notons qu'au lac Magadi EUGSTER (1967) a pu observer les étapes de la transformation de la magadiite en chert par l'intermédiaire de la kenyaïte.

Dans le cas des salines du Kanem, la remarquable stabilité de cette néoformation silicatée s'explique par la faiblesse des précipitations actuelles, la relative imperméabilité des

(\*) Récemment, dans le bassin de Bilma (Niger), des « fantômes » de magadiite ont été mis en évidence dans des cherts. La transformation magadiite  $\rightarrow$  chert nécessitant une pluviosité plus forte que l'actuelle ( $\approx 0$ ), celle-ci n'a pu se faire qu'au cours d'un Pluvial holocène.

argiles et surtout par la présence d'un milieu sursaturé carbonaté sodique, constamment entretenu par les remontées capillaires.

*En résumé*, deux mécanismes distincts semblent être responsables de la genèse des deux faciès sous lesquels se présente la magadiite du Kanem. Le faciès concrétionné résulte de la précipitation de la silice (dissoute dans la nappe) sous le jeu des remontées capillaires. Le faciès lité correspondrait soit à une précipitation chimique directe à partir des saumures alcalines des lacs interdunaires, soit à une néoformation après hydrolyse des lits diatomiques du sédiment originel. Une étude qualitative et quantitative des Diatomées des sédiments de la saline de Liwa, conduite par M<sup>me</sup> S. SERVANT, n'a en fait pas montré de phénomènes de corrosion ou de dissolution des frustules de diatomées ou des lits diatomiques.

Mais, quelle que soit l'origine de la silice, on peut remarquer que *le milieu carbonaté sodique est une condition nécessaire pour la néoformation de la magadiite*. Ce fait rejoint les observateurs de FRANKART et HERBILLON (1969) qui soulignent à propos de l'analcime que « la nature du milieu est un facteur plus important pour la genèse... que la nature des matériaux parentaux ».

Associée à la calcite, gaylussite, nahcolite, trona, natron et thermonatrite qui fixent le calcium, le sodium, le bicarbonate et le carbonate, la magadiite participe pour la plus grande part à l'immobilisation de la silice dans certaines dépressions interdunaires du Kanem qui constituent des milieux confinants carbonatés sodiques. En période de régression lacustre, il est possible qu'elle ait pris le relais de la fixation biochimique de la silice lorsque la salure des lacs interdunaires résiduels devenait trop élevée pour permettre la prolifération des Diatomées.

#### REMERCIEMENTS

Je remercie ici les personnes qui m'ont aidé à réaliser ce travail : M<sup>lle</sup> S. JAULMES, Laboratoire de l'Ecole Polytechnique, Paris ; M<sup>me</sup> S. SERVANT, Centre O. R. S. T. O. M. de Fort-Lamy ; MM. Ch. PARENT et C. JACOB, B. R. G. M., Orléans ; MM. TARDY et WEBER, C. S. G. S., Strasbourg, pour leur aide analytique ; M. le Professeur H. FAURE, J. Ch. FONTES, Laboratoire de Géologie Dynamique, Paris et Y. TARDY, Laboratoire de Géologie, Strasbourg, pour leurs judicieuses critiques du manuscrit.

---

#### Abstract

Magadiite ( $\text{Na Si}_7 \text{O}_{13} (\text{OH})_3 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$ ) has been identified by field and laboratory studies in the clayey sediments of interdunal depressions in the Kanem (northern edge of Chad lake).

This sodic silicate is present in all the depressions where a confined sodium carbonate environment is (or was) formed by capillary evaporation from shallow ground water. Interstratified beds up to 15 cm thickness and disseminated nodules of magadiite in the clays were observed.

Three hypothesis for the magadiite's formation are proposed :

1. Chemical precipitation by evaporation from alkaline brines of interdunal lakes isolated by a lowering of the level of Lake Chad.
2. Chemical precipitation by interaction of alkaline brines with preexisting beds of diatoms.
3. Chemical precipitation by capillary evaporation of the interstitial alkaline brines.

This last process is responsible for the formation of the magadiite concretions and occurs in the depressions where the carbonate salts (mainly trona) are quarried, and where the ground water contains as much as 2.000 mg/l dissolved silica.

---

### Zusammenfassung

Untersuchungen im Gelände und im Labor erbrachten den Beweis, dass Magadiit ( $\text{NaSi}_7\text{O}_{13}(\text{OH})_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) in den Tonablagerungen der Niederungen zwischen den Dünen des Kanem (nördliches Ufergebiet des T Chad-Sees) vorhanden ist.

Dieses sodisches Silikat wurde nachgewiesen in den Niederungen, in denen ein eingeschränktes, sodisch-karbonatisches Milieu durch kapillaren Aufstieg aus in geringer Tiefe liegendem Grundwasser zustande kommt (bzw. zustande kommen könnte). Es tritt in zwei verschiedenen Erscheinungsformen auf: als Zwischenlagerschichten und als vereinzelt Knollen inmitten einer tonigen Grundmasse.

Drei Entstehungsmechanismen werden nacheinander erörtert.

1. Chemische Ausfällung durch Eindampfen der alkalischen Salzlösungen in den zurückbleibenden Zwischendünenseen.
2. Chemische Ausfällung nach Hydrolyse und Remobilisierung der Kieselsäure aus den Diatomeen-führenden Schichten des ursprünglichen Sedimentes.
3. Chemische Ausfällung der im Grundwasser gelösten Kieselsäure durch kapillare Verdampfung.

Der letztgenannte Mechanismus, der für die Entstehung der Magadiit-Konkretionen verantwortlich ist, scheint auch heute noch weiterzuwirken in den Niederungen, die als Salinen in Betrieb sind und in denen das Grundwasser Anreicherungen an löslicher Kieselsäure bis zu 2 000 mg/l aufweist.

---

### РЕЗЮМЕ

Натриевый силикат магалиит, новообразование озерной фации района Канем (северо-восточное побережье озера Чад)

Полевые наблюдения и лабораторные исследования обнаружили присутствие магалиита ( $\text{NaSi}_7\text{O}_{13}(\text{OH})_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) в глинистых отложениях междюнных западин Канема (северный край озера Чад).

Этот натриевый силикат был обнаружен в депрессиях где развивается (или могла развиваться) замкнутая углекисло-натриевая среда благодаря капиллярному подъему от неглубоко залегающей поверхности грунтовой воды. Он представляется в виде переслаивающихся прослоев или в виде рассеянных в глинистой среде желваков.

Почередно рассматриваются три генетических механизма образования :

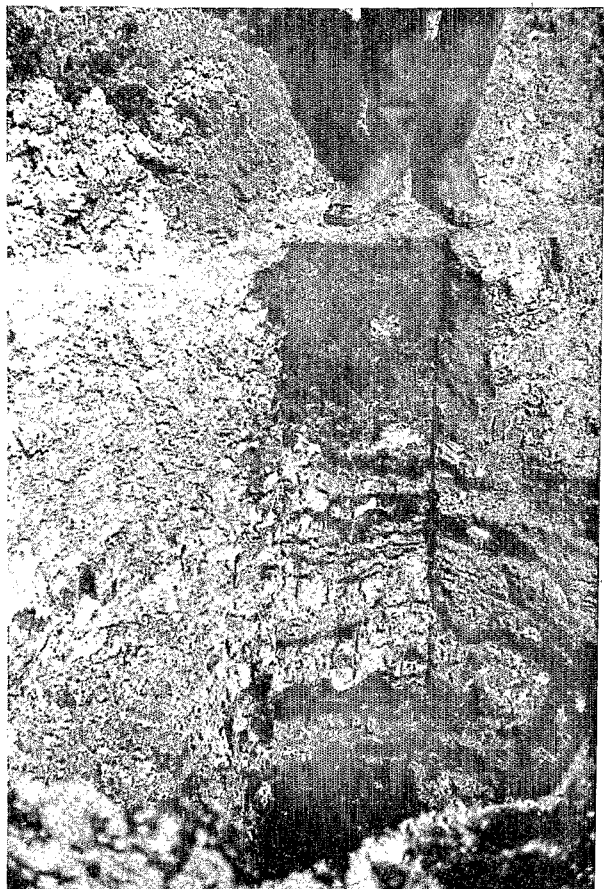
- 1) Химическое осаждение при испарении щелочных рассолов в остаточных междюнных озерах ;
- 2) Химическое осаждение после гидролиза и повторной мобилизации кремнезема диатомовых прослоев в первичных отложениях ;
- 3) Химическое отложение кремнезема растворенного в грунтовой воде при капиллярном испарении.

Последний механизм, ответственный за образование желваков магадиита, продолжает по-видимому свое действие еще в настоящее время в депрессиях разрабатываемых как сильные месторождения и в грунтовой воде которых концентрация растворенного кремнезема достигает 2 000 мг/л.

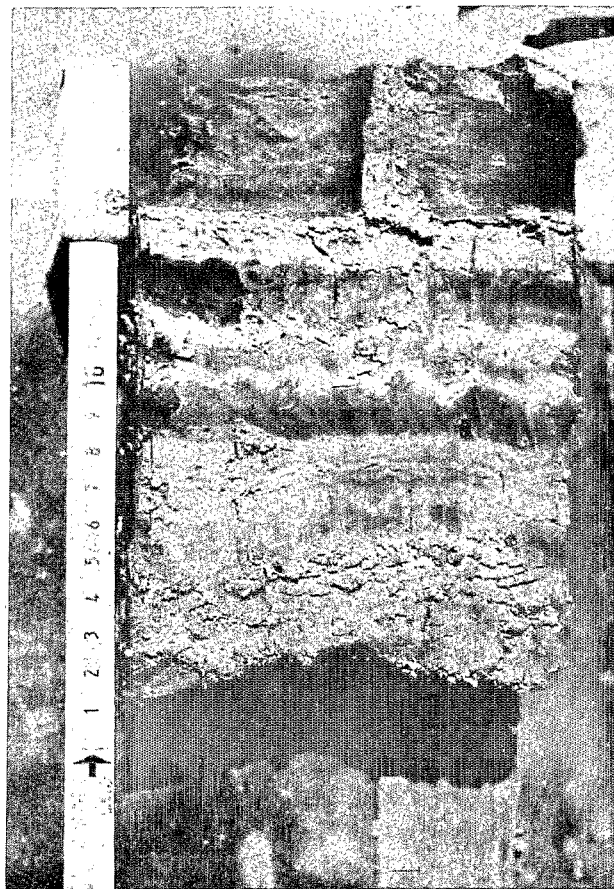
---

### BIBLIOGRAPHIE

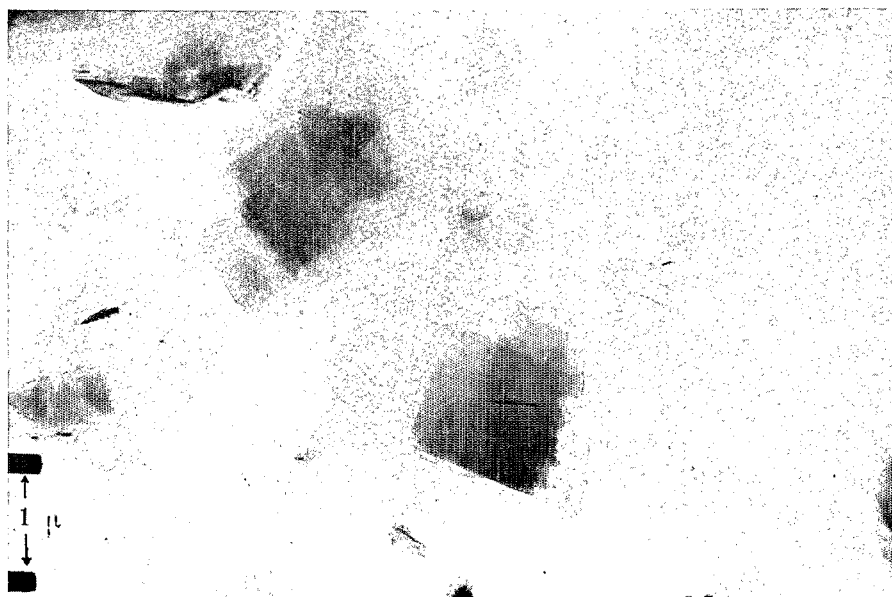
- ALEXANIAN C. L., MOREL P. et LE BOUFFANT L. (1966). — Sur les spectres d'absorption infrarouge des minéraux naturels. *Bull. Soc. Fr. Céram.* Paris, 71, p. 3-38.
- BALDAR N. A. et WHITTIG L. D. (1968). — Occurrence and synthesis of soil zeolites. *Soil Sci. Amer. Proc.*, 32, p. 235-238.
- BRICKER O. P. (1969). — Stability constants and gibbs free energies of formation of magadiite and kenyaite. *Amer. Min.*, 54, 7-8, p. 1026-1033.
- EUGSTER H. P. (1967). — Hydrous sodium silicates from Lake Magadi, Kenya : Precursors of bedded cherts. *Science*, 157, p. 1177-1180.
- EUGSTER H. P. (1969). — Inorganic bedded cherts from the Magadi area, Kenya. *Contr. Min. Petr.*, 22, p. 1-22.
- FAURE H. (1966). — Evolution des grands lacs sahariens à l'Holocène. *Quaternaria*, Roma, VIII, p. 167-175.
- FAURE H. (1969). — Lacs quaternaires du Sahara. *Mitt. Intern. Verein Limnol.*, Stuttgart, 17, p. 131-146.
- FRANKART R. et HERBILLON A. J. (1969). — Présence et genèse d'analcime dans les sols sodiques de la Basse Ruzizi (Burundi). *Bull. Gr. Fr. Argiles*, (à paraître).
- HAY R. L. (1968). — Cherts and its sodium-silicate precursors in sodium carbonate lakes of east Africa. *Contr. Min. Petr.*, 17, p. 255-274.
- MAC ATEE J. L., HOUSE R. et EUGSTER H. P. (1968). — Magadiite from Trinity Country, California. *Amer. Min.*, 53, p. 2061-2069.
- MAGLIONE G. (1968). — Présence de gaylussite et de trona dans les « natronières » du Kanem (pourtour nord-est du lac Tchad). *Bull. Soc. Fr. Min. Crist.*, 91, p. 388-395.
- MAGLIONE G. (1969). — Nouvelles données sur le régime hydrogéochimique des lacs permanents du Kanem. *Cah. ORSTOM, sér. Hydrobiol.*, III, 1, p. 121-141.
- MILLOT G. (1964). — Géologie des Argiles. Masson, Paris, 499 p.
- ROONEY T. P., JONES B. F. et NEAL J. T. (1969). — Magadiite from Alkali Lake, Oregon. *Amer. Min.*, 54, 7-8, p. 1034-1043.
- SERVANT M. et SERVANT S. (1970). — Les formations lacustres et les diatomées du Quaternaire récent du fond de la Cuvette tchadienne. *Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn.*, 2<sup>e</sup> sér., 12, 1.



1. — Photo de magadiite de faciès lité (saline de Liwa)



2. — Photo de magadiite de faciès concrétionné (saline de Liwa)



3. — Microphotographie électronique de magadiite du faciès concrétionné (saline de Liwa)

*Bull. Serv. Carte géol. Als. Lorr., 23, 3-4, p. 177-189, Strasbourg, 1970*

**LA MAGADIITE, SILICATE SODIQUE DE NÉOFORMATION  
DES FACIÈS ÉVAPORITIQUES DU KANEM  
(LITTORAL NORD-EST DU LAC TCHAD)**

par

Gilbert MAGLIONE

*Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, Centre de Fort-Lamy (Tchad)*

---

IMP. LOUIS-JEAN  
— 1970 —

18 AOUT 1971  
C. A. S. N. C. M.  
Bureau de Référence  
B/4927