

CONTRIBUTION A LA CONNAISSANCE DU BASSIN TCHADIEN

G. MAGLIONE

**LA MAGADIITE, SILICATE SODIQUE
DE NEOFORMATION DES
FACIÈS EVAPORITIQUES DU KANEM
(LITTORAL SEPTENTRIONAL DU LAC TCHAD)**

A paraître dans le Bulletin du Service
de la Carte Géologique d'Alsace Lorraine

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

CENTRE DE FORT-LAMY

MAI 1970



LA MAGADIITE, SILICATE SODIQUE DE NEOFORMATION
DES FACIES EVAPORITTIQUES DU KANEM (LITTORAL SEPTENTRIONAL
DU LAC TCHAD).

PAR

G. MAGLIONE

SECTION DE GEOLOGIE

MAI 1970.

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. Inter-stratified 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 whose the ground water contains as much as 2.000 mg. l^{-1} dissolved silica.

Résumé.

Des études de terrain et de laboratoire ont montré la présence de Magadiite ($\text{Na Si}_7 \text{O}_{13} (\text{OH})_3 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$) 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 processus 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 processus, 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^{-1} .

INTRODUCTION.

Deux nouvelles espèces de silicates sodiques hydratés ont été récemment décrites par EUGSTER (1967). Il s'agit de la Magadiite ($\text{Na Si}_7 \text{O}_{13} (\text{OH})_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) et de la Kenyaite ($\text{Na Si}_{11} \text{O}_{20,5} (\text{OH})_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$); 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 ATTEE 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 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 GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE.

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-diatomiteux.

Le climat actuel est subdésertique avec une pluviosité annuelle de 250 mm, une température moyenne de 28°C, une hygrométrie de 38 % et une

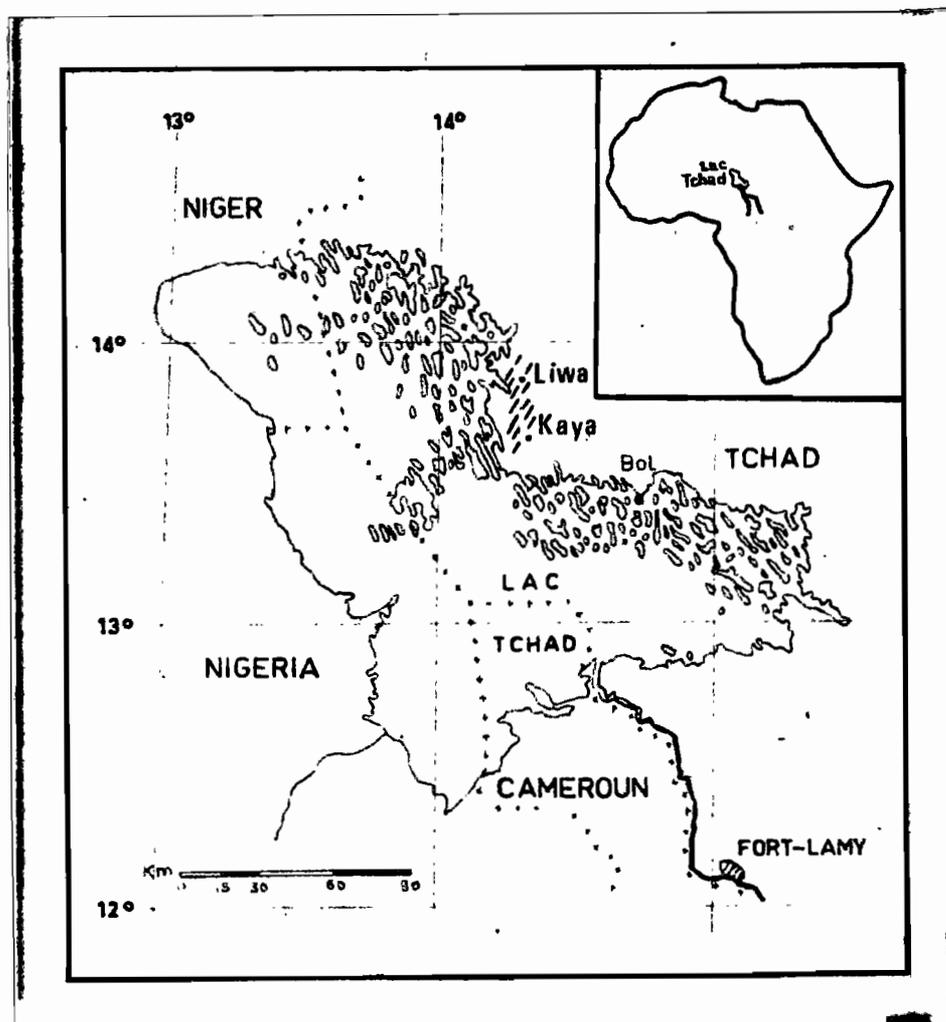


Fig. 1. Carte de situation.

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 argileuse 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 d'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 microli-tage millimétrique apparait, souligné par des lits d'argile ou de matière organique,
- 91-92 cm : Lit continu de magadiite indurée, nacrée.
- 93-120 cm : Argile marron, à tâches vertes, très plastique.
- 121-126 cm: Argile noire bronze; gros cristaux de gaylussite mâclés en rameaux, très abondants.
- 127-220 cm: Argile noire, à forte odeur d'H₂S.

En lit ou en banc continu, la magadiite se présente sous forme d'une pâte blanche, très plastique. Elle apparait 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 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 magadiite; certains englobent des agrégats polycristallins de nahcolite, trona, calcite ou gaylussite. Une de ces 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 magadiite.

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. Cependant elles affectent ici des concrétions de magadiite, 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 magadiite en chert, dont il a pu observer les étapes au Lac Magadi et qui implique un retrait d'au moins 25 %.

III. DONNEES ANALYTIQUES.

Toutes les données analytiques (analyse chimique; diffractométrie des rayons X; analyse thermique différentielle; spectrométrie infra-

rouge et microscopie électronique) ont confirmé la diagnose de la magadiite; elles n'ont pas mis en évidence de Kenyaite, ni de chert.

1. Analyse chimique.

La composition chimique de la magadiite 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 magadiite type du Kenya est bon.

| Oxyde % poids sec | 1. Magadiite du Lac Magadi. | 2. Magadiite du Lac Alkali. | 3. Magadiite du Kanem. |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| SiO ₂ | 77,62 | 77,50 | 78,00 |
| TiO ₂ | 0,06 | 0,02 | 0,10 |
| Al ₂ O ₃ | 0,79 | 0,44 | 0,40 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,55 | 0,00 | 0,10 |
| MnO | 0,01 | 0,00 | Tr. |
| Mg O | 0,26 | 0,50 | 0,10 |
| Ca O | 0,14 | 0,12 | 0,30 |
| Na ₂ O | 5,55 | 5,00 | 5,57 |
| K ₂ O | 0,35 | 0,26 | 0,56 |
| P ₂ O ₅ | - | - | - |
| H ₂ O+ | 5,28 | 4,40 | 5,01 |
| H ₂ O- | 9,32 | 10,10 | 8,85 |

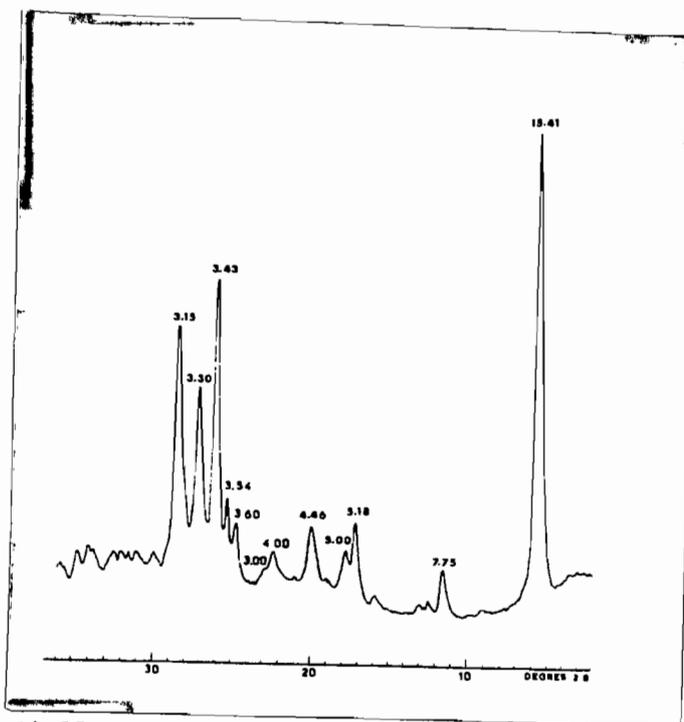
Tableau I. Comparaison des analyses chimiques de la Magadiite des lacs Magadi et Alkali et du Kanem.

1. Echantillon H.P. EUGSTER; analyse O. Von KNORRING.
2. " J.T. NEAL; " L.N. SHAPIRO.
3. " G. MAGLIONE; " B.R.G.M., Orléans.

2. Diffractométrie des Rayons X.

La fig. 2 correspond au diffractogramme X d'un échantillon de magadiite du faciès lité. Comme pour les échantillons provenant des autres localités, le diagramme se caractérise par une raie intense à 15,4 Å. Sur lame glycérolée, ce pic se déplace vers les 18 Å, comportement qui suggère une structure en feuillets expansibles (EUGSTER, 1967; ROONEY et al 1969). Chauffé à 500°C, l'échantillon se transforme en quartz et à 700°C en un mélange de quartz et cristobalite. A 700°C, EUGSTER (1967) indique du quartz et de la tridymite.

Fig. 2.
Diffractogramme X.



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'oxydri-les. 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.

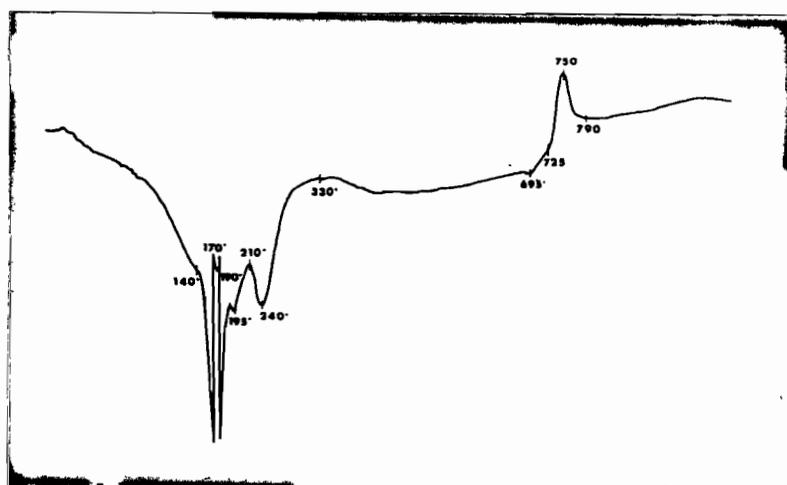


Fig. 3. Courbe d'analyse thermique différentielle.

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.

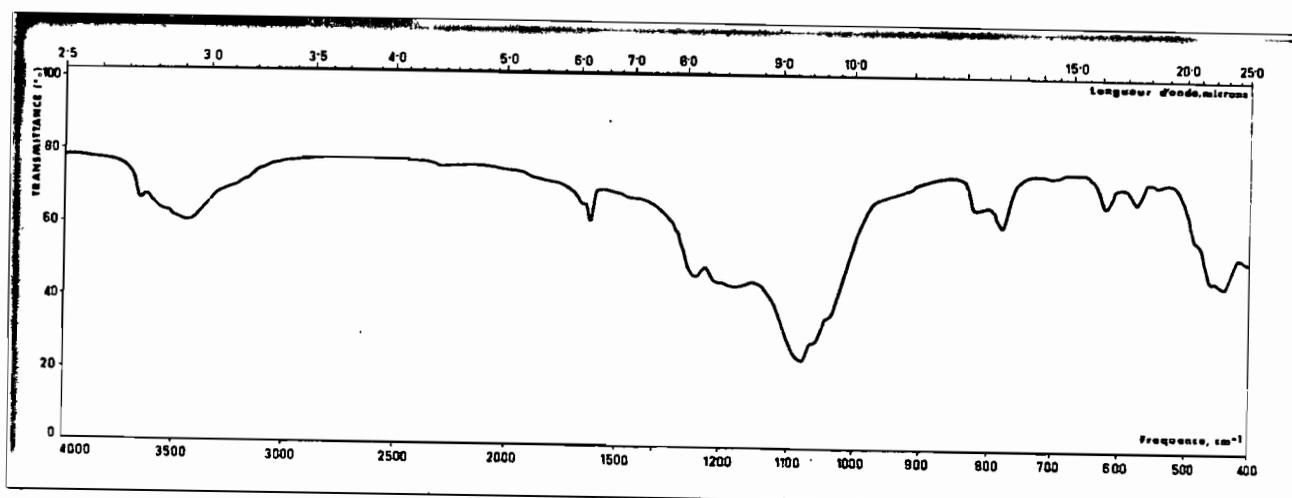


Fig. 4. Spectre de transmission infra-rouge.

Entre 3.700 et 3.300 cm^{-1} , on observe la bande de vibration des groupes oxydriles avec deux composantes à 3.650 et 3.450 cm^{-1} ; la bande de déformation de H_2O , commune à tous les minéraux hydratés, se situe vers

1.650 cm^{-1} , tandis que les crochets à 1.070 et 450 cm^{-1} correspondent aux bandes de vibration de valence Si-O (ALEXANIAN et al, 1966; ROONEY et al, 1969).

5. Microscopie électronique.

Une photo a été 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 remarque 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, par ailleurs déjà publié par Mac ATTEE et al (1969).

IV. MECANISMES GENETIQUES.

L'interprétation de la mise en place des paragéneses 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 anérchique, 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 solubles 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 processus génétiques sont à envisager :

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

A ce processus peuvent être attribués les lits de monocristaux de gaylussite, dépourvus d'impuretés et non mâclés; 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 magadiite (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.

Ces lits notamment les plus épais sont très nettement microlités; 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 magadiite 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; la dilution par des pluies saisonnières et la production de CO_2 due à la fermentation de la matière organique produirait un abaissement de pH conduisant à la saturation vis à vis de la magadiite 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 halophytes diminuent pour disparaître totalement au niveau des lits de magadiite, 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^{-1} (MAGLIONE, 1969).

2. Néof ormation 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

lité de la magadiite. L'établissement dans certaines dépressions interdunaires d'un milieu carbonaté sodique, fortement hydrolisant, aurait amené par remontées capillaires la dissolution des interlits diatomitiques 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 processus pourrait expliquer la liaison qui existe entre 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 processus 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 mâclés en rameaux, incluent des impuretés argileuses et ne respectent pas le litage des argiles encaissantes. C'est également le cas des concrétions formées d'agrégats polycristallins de nahcolite, trona et natron qu'on ne retrouve jamais sous forme de dalle continue.

Les concrétions non stratifiées de magadiite relevant 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 SiO_2 allant jusqu'à 2.000 mg. l^{-1} . 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 ETP régionale de 2.200 mm, de telles eaux déposeraient dans le sol pour une surface de 1 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 fonctionnent en salines.

Remarque. A titre indicatif, nous donnons ci-dessous le résultat d'une analyse chimique de la nappe de la saline Liwa en un de ses points les plus minéralisés (en me. l^{-1}) :

| | | | | | |
|---|---|------------------------|--------------------|----------------|------------------------------|
| $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ | < | 0,2 | Cl^- | = | 1.000 |
| Na^+ | = | 5.600 | SO_4^{2-} | = | 185 |
| K^+ | = | 190 | CO_3^{2-} | = | 4.380 |
| | | | HCO_3^- | = | 180 |
| | | <hr/> | | | <hr/> |
| | | $\text{S}^+ = 5.790,2$ | | $\text{S}^- =$ | 5.745,0 |
| pH = 10,30 - Conductivité = 98.400 $\mu\text{mhos.cm}^{-1}$ | | | - SiO_2 | | = 1.760 mg.l^{-1} . |

CONCLUSIONS.

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 du 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 Kenyaite.

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

En résumé, deux processus 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 diatomitiques du sédiment originel. Des études en cours nous permettront, peut-être, d'apporter des arguments supplémentaires en faveur de l'une ou de l'autre hypothèse.

Malgré 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 observations 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.

Mlle. S. JAULMES, Laboratoire de l'Ecole Polytechnique, Paris.

Mme. 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.

Prof. H. FAURE et J.Ch. FONTES, Laboratoire de Géologie Dynamique, Paris; Y. TARDY, Laboratoire de Géologie, Strasbourg pour leurs judicieuses critiques du manuscrit.

■

■

■

B I B L I O G R A P H I E

- ALEXANIAN C.L., MOREL, P. et LE BOUFFANT, L. (1966) - Sur les spectres d'absorption infra-rouge des minéraux naturels. Bull. Soc. Fr. Céram. Paris, 1966, 71, avril-juin, 3-38.
- BALDAR N.A. et WHITTIG L.D. (1968) - Occurrence and synthesis of soil zeolites. Soil Sc. Soc. Amer. Proc., 32, 235-238.
- BRICKER, O.P. (1969) - Stability constants and Gibbs free energies of formation of magadiite and Kenyaite. Amer. Mineral., 54, 7.8, 1969, 1026 - 1033.
- EUGSTER, H.P. (1967) - Hydrous sodium silicates from Lake Magadi, Kenya : Precursors of bedded cherts. Science, 157, 1177 - 1180.
- _____ (1969) - Inorganic bedded cherts from the Magadi area, Kenya. Contr. Mineral. and Petrol., 22, 1-31.
- FAURE, H. (1966) - Evolution des grands lacs sahariens à l'Holocène. Quaternaria, VIII, Roma, 1966, 167-175.
- _____ (1969) - Lac quaternaires du Sahara. Mitt. Internat. Verein. Limnol., 17, 131-146. Stuttgart, Dezember 1969.
- FRANKART, R. et HERBILLON, A.J. (1969) - Présence et genèse d'analcime dans les sols sodiques de la Basse. Ruzizi (Burundi). Bull. Gr. Fr. des Argiles, sous presse.
- JONES, B.F., RETTIG, S.L. and EUGSTER, H.P. (1967) - Silica in alkaline brines. Science, 158, 1310-1314.

- HAY, R.L. (1968) - Cherts and its sodium - silicate precursors in sodium carbonate Lakes of east Africa. *Contre. Mineral. Petrol.*, 17, 255-274.

- MAC ATTEE, J.L., HOUSE, R. and EUGSTER H.P. (1968) - Magadiite from Trinity County, California. *Amer. Mineral.*, 53, 2061-2069.

- MAGLIONE, G. (1968) - Présence de gaylussite et de trona dans les "natronnières" du Kanem (pourtour nord-est du lac Tchad). *Bull. Soc. Fr. Mineral. Cristallogr.*, (1968), 91, 388-395.

- _____ (1969) - Nouvelles données sur le régime hydrogéochimique des lacs permanents du Kanem. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.* Vol. III, n° 1, 1969, 121-141.

- MILLOT, G. (1964) - *Géologie des Argiles*. Masson et Cie, 499 p.

- ROONEY, T.P., JONES, B.F. and NEAL, J.T. (1969) - Magadiite from Alkali Lake, Oregon. *Amer. Mineral.*, 54, 7.8, 1034-1043.

- SERVANT M. et S. (1970) - Les formations lacustres et les diatomées du Quaternaire récent du fond de la Cuvette Tchadienne. *Rev. Geogr. Phys. Geol. Dyn.*, 2^e ème Série, Vol. 12, fasc. 1.