

# SUR LA SÉDIMENTATION CALCAIRE EN MILIEU LAGUNAIRE

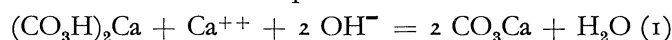
par A. RIVIÈRE et S. VERNHET

## RÉSUMÉ

Au cours de l'été 1953 et pendant une période de forte insolation, S. VERNHET découvrait sur la rive orientale de l'étang du Canet, au milieu des varechs échoués, un dépôt gélatineux blanchâtre, agglutinant le sable du rivage. Étudié quelques mois plus tard et malheureusement desséché, ce dépôt s'avéra être de la calcite. Ce fait posa pour nous le problème de la sédimentation calcaire en milieu lagunaire.

Les recherches hydrologiques effectuées plus tard dans les étangs de Sigean, de Leucate et du Canet attirèrent notre attention sur la coexistence de valeurs élevées du pH (jusqu'à 9,5 et plus), de valeurs élevées de la réserve alcaline (jusqu'à 3,0 milliéquivalents, au lieu de 2,5 pour l'eau de mer) et de basses salinités (de 10 à 30 g par litre). La constatation du fait que la réserve alcaline des eaux douces pouvait être beaucoup plus élevée encore (10 pour une eau de distribution urbaine) nous conduisit à penser que le rôle de la salinité était essentiel.

La précipitation du carbonate de chaux à partir du bicarbonate en solution peut être considérée comme résultant de la réaction d'équilibre :



d'où, en appliquant la loi d'action de masse :

$$C_{(\text{CO}_3\text{H})_2\text{Ca}} \cdot C_{\text{Ca}^{++}} \cdot C_{\text{OH}^-}^2 = k \cdot C_{\text{CO}_3\text{Ca}} \cdot C_{\text{H}_2\text{O}}$$

La concentration en  $\text{H}_2\text{O}$  étant évidemment constante, il vient

$$C_{(\text{CO}_3\text{H})_2\text{Ca}} = K \frac{C_{\text{CO}_3\text{Ca}}}{C_{\text{Ca}^{++}} \cdot C_{\text{OH}^-}^2} \quad (2)$$

Cette équation tend à montrer :

1°) que l'alcalinisation du milieu (augmentation de la concentration en ions  $\text{OH}^-$ ) provoque la diminution de la concentration en bicarbonate, donc la précipitation de carbonate peu soluble, fait d'ailleurs bien connu;

2°) que l'accroissement de la concentration en ions  $\text{Ca}^{++}$ , telle qu'elle peut résulter d'un accroissement de la salinité, tend à produire le même phénomène, ce que nous avons vérifié expérimentalement en ramenant la salinité des eaux lagunaires à la salinité des eaux marines par évaporation à basse température (il se dépose alors de l'aragonite);

3°) que l'abaissement de la concentration en ions  $\text{Ca}^{++}$  résultant d'un abaissement de la salinité par dilution doit entraîner (par dissolution au dépens de la partie calcaire des sédiments) une augmentation de la réserve alcaline d'ailleurs freinée par l'élévation du pH qui en résulte, compte-tenu d'ailleurs des conditions d'équilibre du  $\text{CO}_2$  dissous avec celui de l'atmosphère.

Les résultats expérimentaux ont été interprétés graphiquement en portant en abscisses les salinités (déterminées par mesure de la résistivité) et en ordonnées, en milliéquivalents, les teneurs en Mg, Ca et la réserve alcaline. Le diagramme (fig. 1) obtenu montre 1<sup>o</sup>) que la teneur en Mg est proportionnelle à la salinité; 2<sup>o</sup>) que la teneur en Ca est une fonction linéaire de la salinité, mais la courbe représentative ne passe pas par l'origine du fait de l'augmentation de la réserve alcaline avec les salinités décroissantes (par dissolution des sédiments calcaires en particulier).



FIG. 1. — Oolites de l'étang de La Palme (Aude) : Lumière polarisée, grandissement 50. Structure concentrique, liée à la présence de couches d'aragonite d'épaisseur et de pureté variables, nettement visible. Noter une oolite de grande dimension constituée autour d'un noyau formé de deux oolites soudées entre elles. Le noyau de l'une est formé de quartz, celui de l'autre est une sorte de microgalet d'une roche microquartzéuse de couleur foncée probablement métamorphique ou éruptive (1).

ments du fond de l'étang, des atterrissements qui ont formé des îles au nord et au sud de la voie ferrée de ceux qui se sont constitués en bordure de la digue isolant les salines ou sur les rivages orientaux de l'étang et enfin des dunes qui bordent à l'ouest la longue flèche sableuse séparant la lagune de la mer. Nous n'avons, par contre, jamais observé ces éléments sur la rive occidentale de l'étang, en bordure de la route de la Nouvelle.

1<sup>o</sup> La plupart de ces oolites se sont constituées autour d'un noyau qui peut être un fragment de coquille (assez rarement), un test de Foraminifère, un fragment de croûte carbonatée dont la structure microscopique semble identique à celle de la carapace oolitique, une ou plusieurs oolites préexistantes (déformées à leur contact) ou, le plus souvent, un grain de quartz anguleux émoussé (identique à ceux des plages voisines et des sables sous-jacents à l'étang). Il peut être aussi un microgalet de roche éruptive acide finement grenue. De très rare « oolites » ont une structure homogène sans noyau.

Le diagramme permet également de se rendre compte des faits suivants :

1<sup>o</sup>) toute dilution de l'eau de mer normale, compte-tenu de l'augmentation du volume, permet, par dissolution des sédiments calcaires préexistants, une augmentation relativement considérable de la masse *totale* des bicarbonates en solution;

2<sup>o</sup>) toute diminution ultérieure de la salinité par évaporation aura pour conséquence une précipitation de carbonate de chaux qui pourra être importante.

La réalité de ces phénomènes a été prouvée par la découverte de la formation actuelle d'oolites (8) (aragonite) dans l'étang de La Palme (fig. 2) et plus récemment dans l'étang de Leucate où se produisent aussi des encroûtements calcaires.

En mai 1959, à la faveur du recul des eaux chassées par la tramontane, nous avons observé sur les fonds sableux émergés sur d'immenses surfaces dans le sud-est de l'étang de la Palme, de longues rides sableuses en lesquelles nous pûmes reconnaître des dunes sous-marines ayant migré sur les fonds, avant le retrait des eaux, sous l'effet des vagues (2), (3). Ces rides sableuses étaient essentiellement constituées d'oolites calcaires. Une exploration ultérieure, en septembre, nous montra que les mêmes grains formaient une part importante de la fraction sableuse des sédi-

2° Les oolites présentent une structure concentrique nette. Les couches qui entourent le noyau sont le plus souvent formées de feuilletés concentriques de très faible épaisseur, de l'ordre du micron, ils sont colorés en jaune par des traces d'oxydes ferriques hydratés. La matière constituante que les rayons X montrent être de l'aragonite a une structure microcristalline; malgré sa structure feuilletée et, contrairement à ce qui a été observé jusqu'ici pour les oolites d'origine franchement marine (4), elle ne donne lieu que rarement, en lumière polarisée, au phénomène de la « croix noire ». Encore cette « croix noire » reste-t-elle toujours peu visible. Parmi les couches à structures feuilletées s'intercalent fréquemment, soit au contact immédiat du noyau, soit plus près de la surface externe de l'oolite, des couches non feuilletées, incolores dont l'épaisseur atteint environ une dizaine de microns, également microcristallines, car elles ne s'éteignent pas en lumière polarisée, caractérisées par des alternances de zones claires et sombres disposées radialement. Les oolites sont souvent percées de fins canalicules débouchant à la surface par de minuscules pores et qui correspondent peut-être à des algues perforantes ?

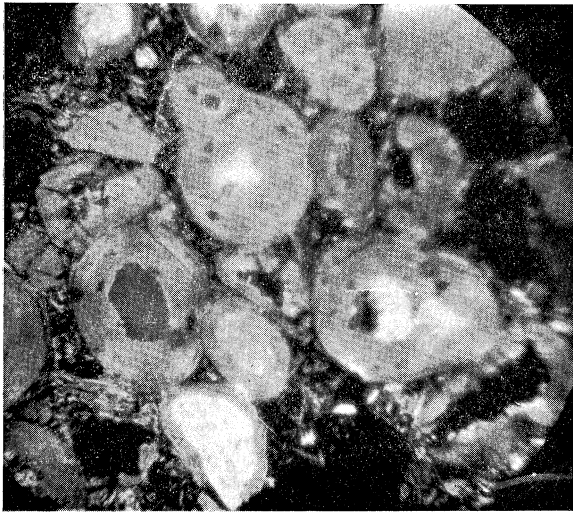


FIG. 2. — Oolites de l'étang de la Palme (Aude). Lumière polarisée, grandissement 50. Une des oolites présente une pseudo-croix noire peu accentuée témoignant d'une structure radiale des feuilletés concentriques successifs d'aragonite, phénomène d'ailleurs peu fréquent pour les oolites de cette origine. Noter également une oolite complexe formée par la coalescence d'oolites simples et une oolite à noyau multiple de quartz (1).

correspondent peut-être à des voiles bactériens et, outre le quartz des noyaux, une « argile » colloïdale donnant des suspensions stables, mais dans laquelle les rayons X ont révélé une fine poussière de quartz peut-être authigénique et pour celles de l'étang de Leucate, des minéraux argileux identiques à ceux de la vase des fonds.

Dans leur aspect extérieur, comme dans celui des agglomérats qu'elles constituent, aussi bien que dans leur structure interne et leur nature minéralogique, les oolites de l'étang de la Palme présentent les plus grandes ressemblances avec celles de Djerba et des Bahamas, telles qu'elles ont été décrites par G. Lucas (4), (5). Les différences essentielles : présence de traces d'hydrates ferriques, absence ou faiblesse de la « croix noire » en lumière polarisée, présence de couches à structure radiale, tiennent probablement à ce qu'elles ont pris naissance dans un milieu différent et surtout très variable dans le temps.

(1) Les taches noirâtres visibles au milieu des couches oolitiques dans l'une et l'autre figure paraissent être des sections de canaux aboutissant assez fréquemment à la surface et qui résultent sans doute de l'action des algues perforantes.

Dans les oolites à noyau de quartz, ce dernier semble avoir été souvent légèrement corrodé et, à son contact immédiat, l'aragonite paraît formée d'éléments cristallins un peu moins exigus et plus transparents.

Des oolites plus ou moins nombreuses, déformées dans les zones de contact, se présentent parfois en agglomérats de deux à quelques dizaines d'éléments réunis par un ciment de même nature que les couches oolitiques. Beaucoup d'oolites, surtout parmi les plus grosses, présentent des formes allongées qui paraissent surtout tenir à la non-isodiamétrie du noyau. Il est assez fréquent de rencontrer des oolites isolées ou de petits agglomérats soudés à des débris de coquille ou à des fragments de croûte calcaire dont la nature est identique à celle de la matière constituant les couches concentriques des oolites.

Certaines oolites présentent une couleur foncée peut-être due à des traces de matières organiques ou à du sulfure de fer finement divisé. L'attaque acide semble laisser des pellicules molles qui

La connaissance du milieu où les oolites de la Palme se forment, ainsi que les détails de leur morphologie, permettent d'affirmer, en plein accord avec la plupart des auteurs (7), qu'elles prennent naissance en milieu agité et qu'elles présentent initialement une texture plastique qui leur permet, lorsqu'au moment de leur dépôt elles viennent en contact les unes avec les autres, de se déformer en s'agglomérant entre elles. L'existence d'oolites complexes dont le noyau est constitué par une ou plusieurs oolites formées dans une phase antérieure, la variabilité de l'épaisseur de la carapace oolitique, l'existence de couches intercalaires à structure radiale nettement différente de celles à structure concentrique montrent que la formation des oolites résulte de plusieurs phases d'accroissement séparées par des phases d'arrêt, et peut-être de corrosion, lorsque les conditions physico-chimiques ont cessé d'être favorables.

Le phénomène est certainement *très lent*, ce qui explique l'enrobage concentrique des grains partout où l'agitation est suffisante pour les mettre en mouvement, même sans doute par simple roulement sur les plages. L'arrêt de l'agitation permet la constitution des agglomérats. Si la sédimentation oolitique ne semble pas s'observer dans les autres étangs de la région, cela tient probablement au fait qu'ils reçoivent une sédimentation détritique plus abondante, car il est possible que les particules argileuses en suspension s'opposent au concrétionnement de l'aragonite en pellicules concentriques régulières.

Les conditions de formation sont évidemment très différentes dans les eaux des Bahamas et du golfe de Gabès, mais on sait que ce sont des régions de *forte évaporation* et il est évident que la réserve alcaline doit y devenir souvent sursaturante du seul fait de l'augmentation de la salinité amenant ainsi la précipitation de l'aragonite, ce qui expliquerait le phénomène mieux peut-être que l'élévation du pH liée à l'assimilation chlorophyllienne, laquelle agit dans le même sens, mais dont l'effet est plus ou moins compensé par la baisse nocturne de cette grandeur.

Ces faits permettent de penser que dans le milieu océanique, les régions de *salinité croissante* seront caractérisées par l'importance de la sédimentation carbonatée, tandis que les phénomènes de dissolution l'emporteront probablement dans les régions de *salinité décroissante*. C'est d'ailleurs semble-t-il ce qui se passe effectivement, compte-tenu d'ailleurs des perturbations pouvant résulter des activités biologiques.

#### BIBLIOGRAPHIE

- (1) A. RIVIÈRE, *Comptes rendus*, **243**, 1956, p. 1538.
- (2) S. VERNHET, *Comptes rendus*, **237**, 1953, p. 1268.
- (3) A. RIVIÈRE et S. VERNHET, *Comptes rendus*, **246**, 1958, p. 1891.
- (4) G. LUCAS, *Bull. Station Océanographique de Salammbô (Tunisie)*, n° **52**, septembre 1955.
- (5) G. CASTANY, G. LUCAS et D. REYRE, *Bull. Soc. Sc. nat. de Tunisie*, **7**, 1953-1954, p. 93-106.
- (6) A. RIVIÈRE et S. VERNHET, *Comptes rendus*, **244**, 1957, p. 2080; **246**, 1958, p. 2784.
- (7) L. DANGEARD, *XIX<sup>e</sup> Congrès Géologique international*, Alger, Section IV, fasc. IV. 1952, p. 79.
- (8) A. RIVIÈRE et S. VERNHET. — *Comptes rendus*, **249**, 1959 p. 2596.