
SUR CERTAINES STRUCTURES ANALOGUES
AUX "CONES IN CONES" ET SUR LE ROLE PROBABLE
DES COURANTS DE CONVECTION DANS LEUR GENESE

par Leon MORET

SOMMAIRE. — Grâce à l'observation de productions analogues dans les vases subactuelles du Lac Mort (Isère), il est démontré que les boursouffures observables sur les dalles de certains calcaires tithoniques, sont également des phénomènes s'étant produits sous l'eau, au cours de la sédimentation, et sous l'action de causes physico-chimiques (courants de convection). Ce sont de véritables « sols polygonaux sous-marins » fossiles¹.

Mon attention a été attirée sur les boursouffures qui affectent les joints de stratification des calcaires tithoniques du Col des Champs (Alpes-Maritimes) par Mme Y. GUBLER ainsi que par M. HÉRITIER, élève-ingénieur à l'Ecole du Pétrole, qui ont récemment revu la région du Haut-Var et de la couverture du Dôme de Barrot (pl. I).

Le gisement se trouve à 1 km. environ à l'W-SW de Saint-Martin-d'Entraunes, le long de la route du Col des Champs. Sur une trentaine de mètres les bancs du Jurassique supérieur, très redressés, y montrent sur la surface de l'un des joints, de curieuses boursouffures en dômes réguliers allant de 2 à plusieurs cm. de diamètre, se prolongeant chacune dans la masse du calcaire (ici calcaire en petits bancs durs, noirs, plus ou moins spathiques et ferrugineux) par une partie conique longue de plusieurs cm. (7 à 8 cm. en moyenne) (pl. II, 2 et 3).

Ces cônes semblent s'emboîter dans des cônes inverses, mais qui ne donnent pas lieu, de l'autre côté du banc, aux boursouffures si caractéristiques dont nous venons de parler.

¹ Trav. Labor. Géol. Univ. Grenoble, t. XXVIII, 1950.

Localement, ces boursouflures se régularisent, s'associent en un pavage polygonal (généralement hexagonal), tandis que des planchers de calcite ou de pyrite peuvent apparaître dans la masse du cône donnant ainsi à l'ensemble une vague allure de colonie d'organismes (fig. 1, *a* et pl. II, 1).

**

Ces formations, très aisément observables dans le talus d'une route assez fréquentée, sollicitent les promeneurs et demandent une explication ¹.

M. ALLOITEAU, à qui des échantillons ont été soumis récemment, pense pouvoir reconnaître dans une plaque mince une structure en calice avec planchers et cloisons suggérant quelque chose d'organique proche des Cœlentérés (Y. Gubler, *in litt.*).

Cependant, de mon côté, je n'ai pas pu retrouver la trace de telles organisations dans les échantillons que m'a communiqués Mme Gubler. Nous avons pensé à un moment à des Spongiaires possibles. Mais, outre que ces animaux ne s'associent jamais en colonies de ce type (sauf les Archæocyathidés cambriens, si tant est que ces organismes soient bien des Spongiaires), les planchers observés ne sont que des cristallisations banales de calcite ou de pyrite et non des associations spiculaires. D'ailleurs, l'allure de ces planchers, souvent bifurqués et ramifiés, est plutôt celle de petits filons, que l'on voit même parfois passer d'un cône au voisin (fig. 1, *b* et *c* et pl. II, 3).

La masse du cône peut également être entièrement envahie par de la pyrite, laquelle s'oxyde et se transforme alors en une masse limoniteuse qui se désagrège en donnant lieu à un cône creux.

Cette structure des cônes exclut une hypothèse à laquelle on aurait pu penser, à savoir que ces boursouflures pourraient représenter des concrétions calcaires déterminées par l'activité de photosynthèse de certaines Algues inférieures (Cyanophycées par exemple), concrétions souvent rangées sous la rubrique Stromatolithes ².

On pourrait alors comparer nos échantillons aux dômes si caractéristiques des colonies de *Collenia* qui, dès l'aurore des temps

¹ C'est ainsi que Mme GUBLER m'informe que des échantillons de ces calcaires avaient déjà été adressés il y a quelques années à notre confrère Ed. ROCH, par un géologue amateur de Nice dont l'attention avait été captée par ce phénomène inhabituel.

² L. MORET, *Paléontologie végétale*, 2^e édition, p. 28, fig. 8.

primaires, ont pris naissance tant dans les eaux douces que marines.

Mais la structure en calcaire concrétionné ne s'observe jamais ici et tous les cônes sont faits du calcaire noir spathique qui constitue le reste des bancs.

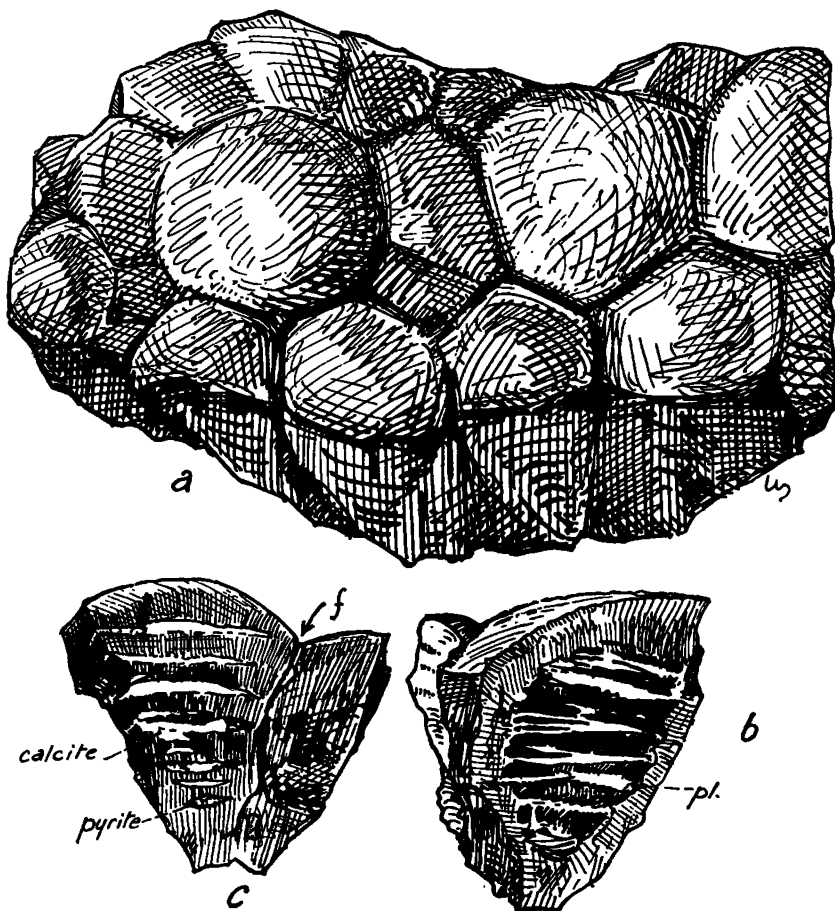


Fig. 1. — Les boursouflures des joints de stratification du Tithonique supérieur de la route du Col des Champs (Alpes-Maritimes).

a, vue d'ensemble des cônes jointifs et associés suivant le mode hexagonal. En bas du bloc, les cônes se montrent en section verticale avec leurs pseudo-planchers pyriteux ou calciteux, ou les deux (réd. 1/2).

b, un cône brisé, montrant les pseudo-planchers (pl.), ici calciteux et séparés par des masses limoniteuses désagrégées. A gauche, on voit l'amorce d'un cône voisin, creux, avec traces de côtes annulaires.

c, cône brisé avec pseudo-planchers de pyrite et de calcite. On voit en *f* (flèche) l'amorce de la fissure qui sépare, seule, ce cône d'un cône voisin, tous deux formés par le calcaire tithonique (à peu près gr. nat.).

De plus, une chose frappe surtout dans la structure de ces singuliers objets, et qui en condamne définitivement la nature organique, c'est que, s'il existe çà et là des vestiges de pseudo-planchers, en revanche, il n'y a jamais la moindre trace de paroi (donc absence de vrais calices) et les cônes s'affrontent suivant d'étroites zones fissuraires mettant au contact le calcaire pyriteux de la gangue (fig. 1, c et pl. II, 3).

Cette extrême abondance de pyrite de fer, souvent oxydée secondairement en limonite, semble bien indiquer que le sédiment originel dont la consolidation a donné finalement le calcaire noir tithonique, a été à un moment donné un milieu organique très réducteur et dans lequel ont pu se manifester de fréquentes variations de température accompagnées de bouffées de gaz variés (H^2S , CO^2 , etc...).

**

Je n'aurais probablement jamais pu élucider la genèse de ces formations vraiment énigmatiques si elles ne m'avaient remis à la mémoire une observation que je fis naguère au Lac Mort, lac d'origine glaciaire situé à 1000 m. d'altitude environ, sur le Plateau des lacs de Laffrey près de Vizille.

Ce lac, actuellement aménagé pour fournir de l'énergie hydro-électrique, est soumis périodiquement à des vidanges plus ou moins complètes.

Or, en 1934, une de ces vidanges, presque totale, me permit d'étudier dans de bonnes conditions la sédimentation mécanique et organique effectuée dans ce bassin depuis le retrait du lobe latéral du glacier würmien de la Romanche qui a donné naissance à tous les lacs de Mateysine³.

A une certaine distance de la bordure Nord du lac, les vases noires argilo-calcaires finement sableuses et micacées tapissant le fond, présentaient sur plusieurs m² de nombreuses cavités coniques de quelques cm. de diamètre, pressées les unes contre les autres, et remplies d'une boue plus fluide ou même plus simplement d'eau trouble (fig. 2, a et pl. II, 4).

Les parois des cavités, vidées par suite de l'évaporation, et que je pus observer à loisir, étaient ornées de côtes étagées, sortes d'amorces de planchers horizontaux. La partie supérieure, de teinte

³ L. MORET, Contribution à la biologie des Algues lithophages d'eau douce, à propos d'observations nouvelles sur quelques lacs de haute montagne (*Trav. Labor. Géol. Grenoble*, t. XVIII, 1936, pp. 182-204, 5 pl.).

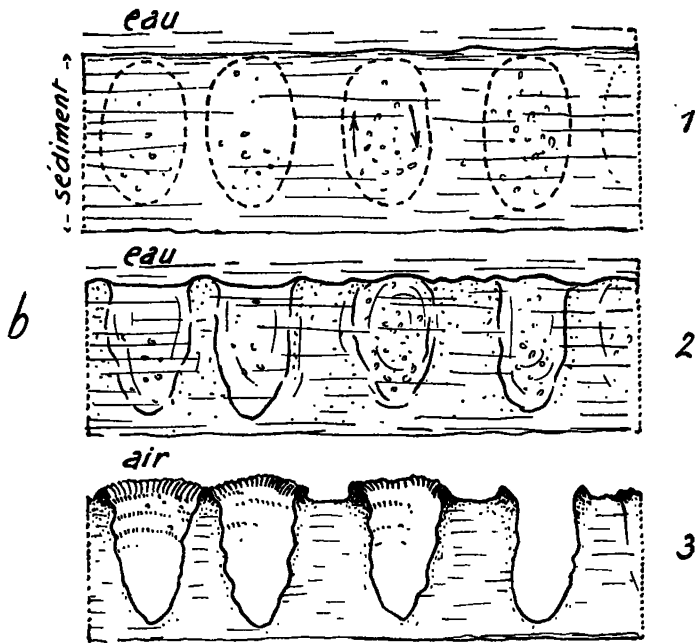
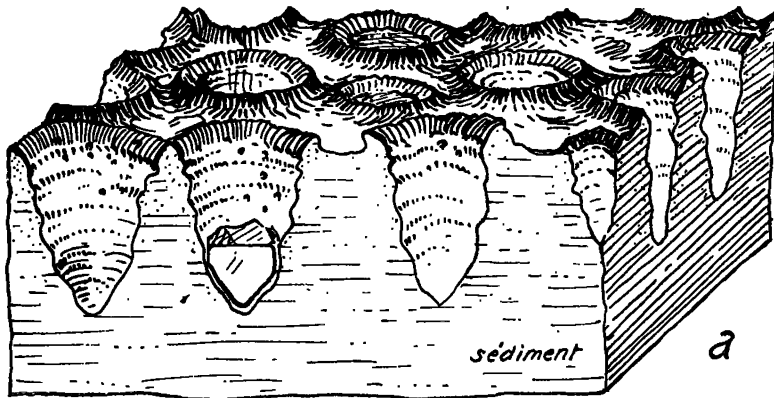


Fig. 2. — Les alvéoles coniques de la vase du Lac Mort (Isère).

a, vue stéréogrammme de l'ensemble. Les cônes, dont quelques-uns sont pleins, sont limités à la surface de la couche par un bourrelet limoniteux, souvent soudé aux voisins. Au premier plan, on voit les sections des cavités coniques avec côtes annulaires et de nombreux petits trous dus aux bulles de gaz (réd. 1/3 environ).

b, trois schémas destinés à faire comprendre l'origine de ces cônes, dans la masse d'une couche de vase.

1 et 2, naissance, dans cette couche, et sous l'eau, des courants de convection et des cellules de convection (variations de température et dégagements gazeux), aboutissant à la formation des alvéoles de vase plus fluide et moins détritique.

3, période d'émersion pendant la vidange du lac : certains cônes se vident tandis que prennent naissance les anneaux superficiels de limonite par oxydation des sulfures.

rougeâtre, en était soulignée par des rebords durcis où la vase avait été consolidée par des précipitations de limonite en donnant des anneaux réunis les uns aux autres pour former une sorte de grillage. Parfois les caprices de la formation limoniteuse avaient produit des anneaux isolés, faciles à enlever, et simulant alors à s'y méprendre de véritables vertèbres (pl. II, 5 et 6).

Je pense maintenant que de tels phénomènes ne trouvent leur complète explication que dans la suite des transformations physiques et chimiques qui se sont effectuées au cours des ans dans la couche supérieure des dépôts lacustres, et que les courants de convection, si fréquents dans les milieux fluides ou boueux dans lesquels se manifestent des différences locales de températures, sont, ici encore, les grands meneurs de jeu. En tout cas, ils n'ont rien d'organique.

On peut donc concevoir la succession des phénomènes ayant conduit à la formation de nos alvéoles coniques de la façon suivante (fig. 2, *b*) :

1°) Dépôt d'une couche de vase calcaire organique, finement micacée (le bassin d'alimentation du lac est essentiellement formé de Lias et de schistes houillers). Un temps d'arrêt.

2°) Réduction des sels de fer (surtout du sulfate, formé par double réaction à partir d'autres sulfates alcalins ou terreux) qui sont transformés en sulfures (pyrite). Cette réaction, exothermique, est fréquente dans toutes ces vases organiques sous-lacustres, et donne lieu à des dégagements d'hydrogène sulfuré. Les conditions sont donc réalisées pour que se produisent, dans la masse vaseuse, des courants de convection, générateurs de petites cellules de convection, dans lesquelles les mouvements d'allure giratoire ont déterminé, grâce à la répartition des matériaux entraînés, les innombrables alvéoles décrits plus haut, et qui, sans la vidange du lac, auraient été enfouis sous de nouveaux apports de sédiments (fig. 2 *b*, 1 et 2).

3°) Vidange du lac. La zone des alvéoles est mise à sec; les sulfures que les courants de convection ont concentrés sur le rebord des alvéoles s'oxydent sous l'influence de l'air dans les parties superficielles du dépôt (phénomène bien connu), en donnant lieu aux anneaux de limonite.

Dans l'intérieur des cellules de convection (cônes creux) le niveau de la vase fluide va baisser par suite de l'évaporation ou des infiltrations; elle peut même disparaître presque complètement, tandis que subsistent les alvéoles soulignés par leur bordure d'anneaux de limonite (fig. 2 *b*, 3 et pl. II, 4).

4°) Remplissage du lac. Les alvéoles vont être colmatés par de la vase, finement stratifiée, et qui durcira peu à peu. La structure en cônes jointifs avec pseudo-planchers est réalisée. Notre couche alvéolaire va disparaître progressivement sous de nouveaux sédiments neufs dans lesquels pourront se reproduire les enchaînements de phénomènes décrits, tandis que la couche recouverte commencera à se fossiliser.



J'en arrive donc tout naturellement, étant donné les similitudes d'aspect et de dimensions, entre les cônes subactuels du Lac Mort et les cônes fossilisés du Tithonique du Col des Champs, à proposer pour ces derniers l'explication que je viens de donner des premiers.

Et l'on peut dire que la Nature a réalisé sous nos yeux, au Lac Mort, un modèle, non pas réduit, mais grandeur naturelle, du phénomène.

Concluons donc que les boursouflures des joints du Tithonique supérieur de la route du Col des Champs sont dues aux bouffées gazeuses et aux courants de convection qui se sont manifestés dans une vase organique calcaire, et sous l'eau ⁴.

Le déroulement des processus physiques et chimiques a certainement été le même que celui du Lac Mort, exception faite pour la phase d'émersion totale. Toutefois, après la phase réductrice (présence de matière organique et de pyrite de fer) durant laquelle se sont produits les courants de convection, une phase d'oxydation a pu se manifester grâce à des courants de fond transporteurs d'oxygène (hard-grounds et micro-brèches intraformationnelles à éléments de Jurassique supérieur dans le Tithonique).

On parle beaucoup en ce moment de Géologie et de Géographie sous-marine et de sols sous-marins : les phénomènes que nous venons de rapporter auraient donc les mêmes causes que les sols polygonaux des régions froides; ce sont de véritables *sols polygonaux sous-marins ou sous-lacustres*, et il n'est pas interdit de penser que, lorsque l'exploration méthodique de ces fonds sera rendue possible, on ne puisse y mettre en évidence la fréquence de tels phénomènes.

⁴ C'est également à des bouffées de gaz humides, que sont attribuées les grosses pustules circulaires ou elliptiques limitées par un bourrelet si caractéristique, récemment observées à la surface des couches de cendres émises par le volcan Paricutin au Mexique (Kenneth Segerstrom, Erosion Studies at Paricutin, State of Michoacan, Mexico. *Geol. Surv., Bull.*, 965-A-1950, p. 59, fig. 18).

La position des cônes, la pointe en bas, permet d'autre part d'orienter le banc qui les contient (comme les Hippurites du Crétacé supérieur de Provence) : au Col des Champs, les bancs sont donc légèrement renversés.



Connaissions-nous, dans la série des sédiments géologiques, d'autres exemples de sols polygonaux fossiles ?

D'après M. P. LORY (com. orale), il existe dans le Lias tégumentaire du rameau externe de Belledonne, aux abords de la chapelle de Fau-Laurent (N. de Séchilienne), des dalles calcaires très pyriteuses et qui, présentant des boursoffures analogues à celles décrites ci-dessus, pourraient avoir la même origine.

Je serais également assez tenté de leur rapporter les curieuses figures en bavures régulières figurées dans la thèse de L. MORNOD⁵ et que l'auteur attribue à des phénomènes de solifluction sous-marine dans un sédiment en voie de consolidation : ici, nos alvéoles auraient débordé et se seraient déversés dans une direction unique, celle de la pente du dépôt.

Mais je suis maintenant à peu près persuadé que les fameuses structures dites « *cones in cones* »⁶, et sur l'origine desquelles on a tant épilogué, ne pourront être correctement interprétées qu'en faisant intervenir des processus physico-chimiques du même ordre et en particulier les courants de convection.

Ainsi, puissent les observations que je viens de relater et qui, de prime abord, pourraient être taxées de simples curiosités, devenir le point de départ d'explications plus générales de ces phénomènes de diagénèse dont certains demeurent encore bien mystérieux.

⁵ L. MORNOD, Géologie de la région de Bulle (Basse-Gruyère), Molasse et bord subalpin (*Matér. Carte Géol. Suisse*, livr. 91, 1949, p. 18, pl. I, fig. 48).

⁶ Fig. in L. MORET, *Précis de Géologie*, p. 327, fig. 161-IV.