CONTRIBUTION A LA BIOLOGIE
DES
ALGUES "LITHOPHAGES" D'EAU DOUCE
A PROPOS D'OBSERVATIONS NOUVELLES SUR QUELQUES LACS DE HAUTE MONTAGNE

Par Léon MORET

SOMMAIRE

INTRODUCTION.

I. — Principaux types d'Algues lithophages lacustres.

A. Algues perforantes.

B. Algues cariantes.

II. — Le problème des tufs lacustres et des galets sculptés.

A. Formation des tufs lacustres.

B. Formation des galets sculptés.

III. — Observations nouvelles sur les Algues cariantes.

A. Tufs et galets sculptés dans les torrents.

B. Tufs, roches et galets sculptés des lacs alpins d'altitude.

a) Lac de Marinet.

b) Lac Mort.

C. Roches et galets sculptés des lacs de Cyrénaïque.

IV. — Les phénomènes déterminés par les Algues lithophages au cours des temps géologiques.

A. Algues incrustantes et sédimentation.

B. Algues perforantes des sédiments géologiques.

CONCLUSION.

INTRODUCTION

Si les organismes lithophages sont représentés dans le monde animal par un certain nombre d'Invertébrés marins (Pholades, Lithodomes, Leucodores, Cliones, etc.) ou terrestres (*Levantina*), de son côté le monde végétal possède quelques plantes inférieures du groupe des Algues qui présentent, elles aussi, cette curieuse propriété.

Ces Algues « lithophages » se rencontrent aussi bien dans les eaux salées que dans les eaux douces, mais elles ne doivent pas être confondues avec les Algues dites « calcaires » (ex. *Lithothamnium*), qui utilisent directement le carbonate de calcium qu'elles extraient du milieu marin pour l'incorporer à leurs tissus.

L'action biologique des Algues lithophages est en effet différente, car le dépôt calcaire qui en résulte est ici accessoire, d'ailleurs transitoire, en tout cas extérieur au végétal.

Nous verrons que c'est par une autre propriété que se caractérisent ces végétaux : la sculpture et la perforation des substances calcaires comme les roches, les galets, les coquilles.

Dans cette étude, je m'occuperai surtout des Algues lithophages d'eau douce envisagées du point de vue de leurs manifestations biologiques (tufs lacustres, galets sculptés [1] et perforés), dans l'espace et dans le temps, problème qui est, parmi ceux concernant la biologie lacustre, l'un des plus passionnants.

I. — Principaux types d'Algues lithophages lacustres.

Avec R. Chodat [2], nous en distinguerons deux, d'ailleurs bien tranchés : les Algues perforantes et les Algues cariantes.

---

[1] Furchensteine, sculptured boulders.

[2] Etudes de biologie lacustre sur les Algues perforantes d'eau douce (*Bull. de l'Herbier Boissier*, juin 1898, p. 93).

A. — Les Algues perforantes.

Elles se bornent à *transpercer les corps durs sans les carier.* Le beau mémoire que Ed. Bornet et Ch. Flahault leur ont consacré en 1889 [3] a fait faire un pas décisif à la question des Algues perforantes marines et lacustres.

Ces auteurs ont même montré que certaines Algues marines (*Gomontia, Ostracoblabe, Hyella, Plectonema,* etc.) étaient de véritables parasites ne pouvant vivre que dans les coquilles de Mollusques qu'elles perforent et pénètrent en tout sens de leurs minuscules rameaux. Par la suite, les Algues perforantes des eaux douces furent plus spécialement étudiées et le mérite de R. Chodat (*loc. cit.*) a été de montrer, dès 1898, que, dans les grands lacs jurassiens, non seulement les coquilles d'Anodontes étaient attaquées par ces organismes (*Foreliella, Congrosira*), mais que les roches du rivage et les galets eux-mêmes étaient atteints, et que là, ces Algues étaient presque toujours associées à des formes du deuxième type, des Algues cariantes.

A son tour, M. Langeron [4], en 1902, étudiant la végétation et le mode de formation des tufs qui encombrent les résurgences du Jura, notamment à Baume-les-Messieurs, montra que ces Algues perforantes (*Congrosira, Gomontia, Plectonema,* etc.) s'installent sur les masses tufeuses précipitées qu'elles perforent de leurs ramifications et que, là encore, elles se trouvent en compagnie d'Algues cariantes.

L'appareil végétatif de ces Algues est assez variable, mais, en gros, il consiste en un lacis de filaments verdâtres de 9 à 10 μ de diamètre, plus ou moins ramifiés et renflés çà et là, pour donner des organes de reproduction très caractéristiques (aspect dit *codiolum*) [5].

---

[3] Sur quelques plantes vivant dans le test calcaire des Mollusques (*Bull. Soc. Bot. France,* t. XXXVI, 1889, p. CXLVII).

[4] Contributions à l'étude de la Flore fossile de Sézanne. Nouvelles considérations sur les formations travertineuses anciennes et contemporaines (*Bull. Soc. d'Hist. nat. d'Autun,* t. XV, 1902).

[5] On ne peut se rendre compte de la structure de ces Algues qu'en faisant des coupes minces dans les objets (coquilles) attaqués.

Certaines de ces Algues ne s'attaquent qu'aux coquilles mortes, d'autres aux coquilles vivantes qu'elles maculent de petites taches vertes, d'autres enfin aux galets, aux roches et même aux tufs des grèves. Quoi qu'il en soit, le résultat de cette attaque est toujours le même : ces corps durs, criblés de perforations, finissent par s'émietter, et c'est ainsi que l'on explique la disparition des coquilles sur certaines côtes calmes des grands lacs où le travail mécanique des vagues est à peu près nul. Ajoutons que, dans les mers, l'importance de ces organismes vient d'être mise récemment en lumière par G. Nadson [6] qui a montré leur abondance, leur grande répartition et le rôle grandiose qu'elles jouent, non seulement dans la destruction des côtes calcaires et des amas de coquillages, mais aussi dans la circulation du calcium et même du magnésium.

On ignore à peu près tout de la façon dont l'Algue procède pour perforer les substances calcaires.

B. — Les Algues cariantes.

Tout autre est le résultat de l'activité biologique de ces Algues qui provoquent chez les substances calcaires (roches ou galets) sur lesquelles elles se fixent une véritable carie qui aboutit à la formation d'une purée crayeuse, facile à déblayer.

L'appareil végétatif et le mode de vie de ces Algues sont différents. Ce sont des Cyanophycées filamenteuses très menues, dont les filaments courts et finement cloisonnés, de 1 à 4 μ de diamètre environ, sont groupés en petites pelotes, fixées à leur base et réunies par une substance mucilagineuse. Ces coussinets, d'un vert sombre ou brunâtre, forment des amas très caractéristiques sur les cailloux; ils ont en général quelques millimètres de diamètre. Mais ils peuvent atteindre quelques centimètres (ex. *Schizothrix, Rivularia*). Parfois, au contraire, ces

---

[6] Les Algues perforantes de la mer Noire (*C. R. Acad. Sc. Paris*, t. 184, p. 896, 4 avril 1927), et Les Algues perforantes : leur distribution et leur rôle dans la nature (*Ib.*, p. 1015, 25 avril 1927).

Algues peuvent former un revêtement continu sur les corps immergés et se présentent alors comme une véritable prairie en miniature, de teinte brunâtre ou verdâtre (ex. *Calothrix*).

Ce sont ces Algues qui, dans la sculpture des roches, jouent le rôle essentiel, car, ainsi que l'ont montré les recherches de Chodat, puis de Langeron, elles s'installent tout d'abord, tandis que les Algues perforantes n'arrivent en général qu'après, pour s'établir à leur tour et s'enfoncer parmi le tapis des Algues filamenteuses cariantes. Ces Algues cariantes sont très répandues dans les lacs et les cours d'eau, mais ce sont surtout celles des grands lacs jurassiens et savoisiens qui ont attiré l'attention à cause des phénomènes biologiques intéressants auxquels elles donnent lieu. Aussi ont-elles été étudiées par de nombreux naturalistes : Al. Braun, Forel, Kircher, Chodat, Wessenberg-Lund, Le Roux, et leur bibliographie est-elle copieuse.

II. — Le problème des tufs lacustres et des galets sculptés.

Dans nos grands lacs, les deux phénomènes se montrent liés, en tout cas ils sont concomitants. En effet, les petites touffes algueuses, formées surtout de *Schizothrix* et de *Rivularia,* y sont à la fois cariantes et productrices de tuf. Tout se passe comme si, pour vivre (fonction chlorophyllienne), l'Algue décomposait le bicarbonate de calcium contenu en dissolution dans l'eau pour s'emparer du gaz carbonique; ce faisant, elle libère le carbonate neutre insoluble qui se fixe sur les touffes, ou à leur voisinage, en déterminant des concrétions cérébroïdes d'aspect spongieux, les *tufs lacustres.*

Mais, pendant ce temps, l'Algue, par un processus de décomposition crayeuse encore mal élucidé, attaque son substratum, et lorsque, par suite d'actions mécaniques ou autres, les pierres ont été débarrassées de la croûte tufo-crayeuse qui les revêtait, leur surface se montre creusée de nombreux et capricieux méandres; elles sont devenues des *galets sculptés.* De nombreux types de tufs et de galets sculptés ont été décrits et

figurés par Forel dans son ouvrage classique sur le Léman [7], et par Le Roux [8] dans sa monographie biologique du lac d'Annecy. La présence de ces tufs et galets sculptés, mis en évidence par la suite dans beaucoup d'autres grands lacs, est restée longtemps une énigme, et le lecteur pourra se rendre compte par ce qui suit que le problème de leur origine n'est pas encore complètement résolu.

A. — Formation des tufs lacustres.

Ce phénomène est particulièrement développé dans les lacs de Neuchâtel, de Bienne, de Morat, d'Annecy, du Bourget, de Nantua, etc.; il l'est moins dans le lac de Genève.

A Annecy, tous les galets et les blocs de la beine, dans les zones peu profondes et bien insolées, en sont recouverts. On y connaît même depuis longtemps une véritable corniche tufeuse sous-lacustre, solidement fixée à l'abrupt rocheux du Roc-de-Chère, entre 0 m. 60 et 1 m. 50 de profondeur (Le Roux, *loc. cit.*, p. 131), corniche pouvant rappeler les trottoirs à *Lithothamnium* du littoral méditerranéen. Enfin, le phénomène existe dans beaucoup d'autres lacs, et je l'ai retrouvé récemment dans l'un des lacs du plateau de Laffrey (Lac Mort), à une altitude plus élevée.

Rappelons tout d'abord que l'intervention des végétaux n'est pas indispensable pour provoquer le dépôt du calcaire pur. Tous les géologues connaissent tels dépôts de grottes (stalactites et stalagmites), de croûtes, de travertins, de tufs, dus à l'abandon pur et simple par les eaux de circulation profonde, de sources, de torrents, de l'excès de calcaire qu'elles ont dissous pendant leur trajet souterrain ou aérien. On sait en effet que ces eaux sont presque toujours riches en principes acides (acides hu-

---

[7] Le Léman, monographie limnologique, 3 vol. Lausanne, 1892-1901.

[8] Recherches biologiques sur le lac d'Annecy (*Ann. de Biologie lacustre*, t. II, Bruxelles, 1907), et Recherches biologiques dans les grands lacs savoyards (lacs du Bourget et d'Annecy) (*Revue Savoisienne*, Annecy, 1926-27-28).

mique et crénique, acide carbonique) et sont par là même agressives pour le calcaire.

Enfin, les eaux d'origine profonde bénéficient encore de conditions de température et de pression spéciales qui, se trouvant brusquement modifiées au point d'émergence, surtout si la remontée des eaux a été rapide, déterminent la précipitation des corps minéraux dissous. Les phénomènes d'évaporation et de concentration peuvent également agir dans le même sens. Il s'agit donc ici d'une précipitation d'origine physico-chimique.

Mais, dans nombre d'autres cas bien étudiés, et que nous avons précisément en vue ici, le rôle essentiel dans la précipitation du calcaire est dévolu aux végétaux et principalement aux Mousses et aux Algues. Ici, deux hypothèses peuvent être formulées : ce rôle des végétaux est purement physique, la plante n'intervenant que pour diviser mécaniquement l'eau et favoriser ainsi le départ du gaz carbonique qui maintenait le calcaire en dissolution; ce rôle est physiologique et, en ce cas, le végétal, par photosynthèse, dissocie, ainsi que nous l'avons déjà dit, le bicarbonate de calcium en s'emparant du gaz carbonique, ce qui favorise le dépôt du carbonate neutre insoluble.

Or, dans les lacs dont nous venons de parler, la formation du tuf est uniquement sous la dépendance des Algues Cyanophycées, dont les petites touffes incrustées revêtent tous les corps immergés. Lorsque la croûte tufeuse est traitée par un liquide acide (liquide de Gaumont) qui fait disparaître le calcaire, on se rend compte aisément qu'elle est uniquement formée par un lacis de filaments d'Algues (*Schizothrix, Rivularia*), et que c'est le mode de croissance de ces Algues qui détermine la forme si singulière, l'allure spongieuse, de ces tufs lacustres. Dans les lacs tempérés du type carbonaté, comme ceux d'Annecy et du Bourget par exemple, cette végétation algueuse détermine, ainsi que l'avait déjà remarqué L. Duparc [9], une intense décalcification des eaux. Le Roux a même calculé (*loc.*

---

[9] Le lac d'Annecy (*Arch. des Sc. Phys. et Nat. de Genève*, 15 février 1894).

cit., p. 137) que, pour l'ensemble du lac, la masse de calcaire précipité par les Algues en question pouvait atteindre 53.928.000 kilogrammes par an.

Mais, ainsi que nous l'avons déjà fait remarquer, l'Algue n'assimile pas ce dépôt calcaire, qui finit par l'étouffer et devient son tombeau; si bien que la fonction incrustante, qui l'emportait d'abord sur la fonction cariante que nous allons étudier plus loin, s'arrête à un moment, et que le tuf lacustre est devenu un tuf mort. La vie ne se propage qu'à la surface de la masse incrustante, où alors elle se déplace latéralement.

Pendant longtemps, les auteurs qui se sont occupés de cette question ont cru que l'activité biologique de l'Algue était seule à intervenir dans la formation des tufs lacustres. En réalité, le phénomène est plus complexe, et il est probable que les bactéries, dont la présence a été parfois reconnue contre les filaments de l'Algue, jouent un rôle considérable dans le phénomène [10].

Il y a là un vaste champ d'étude, encore mal exploré, et qui peut livrer une moisson féconde aux chercheurs.

B. — Formation des galets sculptés.

Le problème des galets sculptés a été posé vers 1840 par Al. Braun et W. Schimper [11] qui, observant les sculptures des galets des rives du lac de Neuchâtel, les attribuent à une Cyano-

---

[10] On trouvera des renseignements précieux sur le phénomène de la précipitation du calcaire dans les ouvrages suivants :

A. Pascher, Die Süsswasser Flora Deutschlands, Œsterreich und der Schweitz, Heft 12; Cyanophyceae, par L. Geitler. Iena, 1925, p. 43.

W. H. Twenhofel, Treatise on sedimentation. Baltimore, 1926, p. 232.

J. Pia, Kohlensäure und kalk-Einfuhrung in das Veständnis ihres Verhaltens in den Binnengewässern (*in* : Die Binnengewässer, von A. Thienemann, Bd. XIII, 1933).

J. Pia, Die Kalkbildung durch Pflanzen (*Beihefte zum Botanischen Centralblatt*, Bd. LII, 1934, Abt. A).

L. Cayeux, Les roches sédimentaires de France. Roches carbonatées (calcaires et dolomies). Paris, Masson, 1935, p. 295.

[11] On trouvera une bibliographie complète de la question dans les ouvrages de Forel (le Léman), de Chodat et de Le Roux, déjà cités. Voir en outre R. Chodat, Les galets sculptés du rivage des lacs jurassiques, Etudes de biologie lacustre (*Bull. de l'Herbier Boissier*, juin 1898, p. 109).

phycée, *Euactis calcivora* (*Rivularia hoematites*). En 1868, J. de la Harpe pense qu'elles sont l'œuvre de larves de Névroptères, opinion adoptée en 1877 par F.-A. Forel, qui fait cependant dans le phénomène la part qui revient aux Algues. Pour lui, les Algues qui recouvraient primitivement le galet sculpté étaient incrustantes et devaient préserver le calcaire contre l'action dissolvante de l'eau; les larves de Névroptères, en circulant dans cette jungle microscopique, tracent des sillons, véritables « pistes », qui finissent par atteindre la pierre et la mettent ainsi à la merci de l'eau dissolvante. Les sillons sont donc nus, seules les arêtes portent des Algues.

En 1898, des idées analogues sont émises par Schroter et Kirchner au cours de leur étude du lac de Constance. La même année aussi, R. Chodat (*loc. cit.*) démontre, ce qu'avait déjà soupçonné F. Cohn en 1893, l'action cariante de certaines Algues, mais réfute ce que croyait avoir démontré Forel, à savoir que seules les arêtes des galets sculptés sont recouvertes d'Algues, tandis que les creux montrent la roche à vif. Pour lui, le revêtement algueux est primitivement continu. Les coupes qu'il exécute dans ces galets sculptés montrent d'une façon indiscutable la pénétration des filaments végétaux dans la roche calcaire et la constitution d'une véritable zone cariée où la roche est complètement désorganisée et devient meuble. Cette carie n'est pas un dépôt tufeux surajouté, mais le résultat de la transformation de la roche support par l'Algue; l'intervention d'actions mécaniques (vagues, mouvements d'animaux), en enlevant cette purée calcaire irrégulière, détermine les galets sculptés. Dans cette action, l'auteur considère que ce sont les *Schizothrix* qui pénètrent tout d'abord la pierre et que, dans cette première végétation, s'intercalent ensuite les *Rivularia* et les *Calothrix* dont l'action cariante ne serait que secondaire. Des *Congrosira*, à leur état *Codolium* surtout, s'y associent également.

Mais le mécanisme de cette carie reste très obscur, aucun liquide acide ne semble ici intervenir et la réaction de ces filaments d'Algues en milieu carié est le plus souvent alcaline.

Chodat (*loc. cit.*, p. 112) propose alors une explication fort ingénieuse : il se demande si les *Schizothrix* et autres Algues analogues ne posséderaient pas la « propriété de prendre le CO^2 du calcaire même qu'elles habitent en le transformant en $Ca(OH)^2$, lequel, par l'acide carbonique excrété par la respiration et contenu dans l'eau, se retransformerait, selon le temps et les circonstances, en carbonate de chaux de seconde formation ».

De plus, Chodat croit pouvoir constater une légère action cariante due à ces mêmes Algues sur des galets siliceux.

Wesenberg-Lund, en 1901, constate la présence de tufs d'incrustations sur des roches calcaires et sur des roches siliceuses, et en conclut que la chaux précipitée par les Algues est extraite de l'eau du lac et non du calcaire du substratum. Il attribue les sculptures à la fois aux Algues et aux insectes et souligne l'importance de la nature de l'objet attaqué.

Forel revient sur le sujet en 1901 (Léman, p. 388) et en fait une étude critique complète. Tout d'abord, il se livre à une discrimination des nombreuses causes (organiques, physiques, etc.) qui peuvent donner lieu au phénomène de la sculpture des galets lacustres, mais reconnaît que la plus importante, la plus répandue, la plus agissante, est celle qui résulte de l'action des Algues incrustantes. A ce sujet, il esquisse une classification des différents types de sculptures (méandriformes, rectilignes, cupuliformes, etc.). Mais il trouve dans de nouvelles observations matière à renforcer ses premières idées sur l'origine des galets sculptés, en particulier que seules les pierres calcaires sont attaquées, que les Algues ne se montrent que sur les parties en relief des galets qu'elles revêtent comme d'un « vernis protecteur qui empêche l'attaque chimique de la roche », que les sillons sont déterminés par le cheminement des larves d'insectes et que la pierre, y étant à nu, est attaquée chimiquement par l'eau.

En 1907, Marc Le Roux (*loc. cit.*), qui avait déjà mis en évidence l'existence de galets sculptés dans les lacs d'Annecy et

du Bourget, reprend à son tour le problème. Ses travaux confirment entièrement les conclusions de Chodat. Il montre comment, par suite du développement progressif et de la confluence des coussinets d'Algues schizophycées sur les blocs calcaires, l'action combinée de la carie et de l'incrustation aboutit à la sculpture de la pierre. Et ceci lui permet d'expliquer pourquoi les intervalles ou crêtes séparant les dépressions sont recouverts par une couche d'Algues jeunes, tandis que les creux montrant la roche à nu marquent l'emplacement des coussinets d'Algues plus anciennes qui ont disparu (*loc. cit.*, fig. 14). Ici donc, le rôle des larves d'insectes dans la formation des méandres n'est pas prédominant. L'évolution des petites touffes d'Algues incrustées (plus ou moins confluentes) et chez lesquelles la vie est concentrée à la périphérie, tandis que les parties profondes sont réduites à des gaines vides, mortes, est comparée par cet auteur à celle des Sphaignes des tourbières, ou même aux récifs de Coralliaires chez lesquels la vie est également réduite aux couches externes.

Enfin, en 1917, dans son livre sur la biologie des plantes aquatiques, R. Chodat[12] revient sur le problème et esquisse ainsi l'action cariante des *Schizothrix :* « Il y aurait à décrire la manière curieuse dont elles usent pour débiter le caillou, comment, en sécrétant autour de leurs filaments ténus des gaines qui gonflent plus tard, elles ébranlent la structure compacte de la pierre, comment finalement elles dissolvent le calcaire. »

Ces lignes montrent que le regretté botaniste avait encore médité sur un sujet qui lui était cher et qu'il semblait entrevoir le processus de la carie d'une façon fort intéressante et dont nous devons tenir compte.

En résumé, dans l'état actuel des recherches, les galets sculptés de nos grands lacs résultent, dans la majorité des cas, de l'action d'Algues cyanophycées qui attaquent mécaniquement

---

[12] La biologie des plantes. I, Les plantes aquatiques. Genève, 1917, p. 110.

et chimiquement le substratum sur lequel elles se fixent; le rôle des larves d'insectes est seulement adjuvant. Mais, c'est le mode végétatif de l'Algue cariante et surtout l'intervention de l'incrustation calcaire, limitant dans l'espace la vie des touffes d'Algues, qui jouent le rôle prépondérant dans la sculpture des galets et dans l'allure de ces sculptures elles-mêmes. Ainsi, dans nos lacs carbonatés, où abondent les galets calcaires sculptés, ces sculptures sont presque toujours du type méandriforme.

Nous verrons plus loin dans quel sens les observations nouvelles que nous rapportons confirment ou infirment cette manière de voir.

III. — Observations nouvelles sur les Algues cariantes.

A. — Tufs et galets sculptés dans les torrents.

Beaucoup de cours d'eau (torrents, ruisseaux), surtout en pays calcaires, renferment des formations tufeuses dues à des coussinets d'Algues cyanophycées; c'est là un fait banal. Mais il se trouve que ces formations sont particulièrement développées aux Iles-du-Fier, près d'Annecy, non loin de la minoterie Cléchet. En ce point, l'assèchement passager d'un bras du torrent du Fier m'a permis de découvrir, en 1912, des concrétions tufeuses cérébroïdes centrées par un galet (pl. III, fig. 1), ainsi que des galets sculptés absolument analogues à ceux du lac d'Annecy. Mais, ici, ce sont surtout des touffes brunes ou rougeâtres de Rivulaires (*Rivularia hoematites*) qui donnent lieu au phénomène.

Cette observation rentre donc dans le cadre de celles des lacs jurassiens et savoisiens; nos Algues sont ici cariantes et incrustées.

Nous allons voir qu'il n'en est pas toujours ainsi et que, dans certains cas, ces fonctions peuvent être séparées.

B. — Tufs, roches et galets sculptés des lacs alpins d'altitude.

Le phénomène de la sculpture des roches par les Algues cariantes n'avait pas encore été signalé, à ma connaissance du moins, dans les lacs alpins de haute montagne [13].

J'ai eu l'occasion à plusieurs reprises, au cours d'explorations géologiques dans les Alpes méridionales, d'observer le phénomène et dans des proportions remarquablement développées, notamment en 1929, au lac de l'Ascension (2304 m.), dans le massif de Pierre-Eyrautz (Hautes-Alpes) et surtout en 1933, au lac de Marinet (2535 m.), dans le massif de Chambeyron (Basses-Alpes). Enfin, en juin 1934, la vidange du lac Mort (930 m.), le seul des lacs du plateau de Laffrey (Isère) qui soit utilisé par l'industrie hydroélectrique, m'a permis d'y découvrir de magnifiques galets sculptés accompagnés d'incrustations calcaires.

a) Lac de Marinet. — J'insisterai surtout ici sur le cas de ce lac, au sujet duquel j'ai déjà publié une note préliminaire [14], parce qu'il est fort instructif.

Il y a plusieurs lacs de Marinet, mais celui dans lequel ont été observés les blocs sculptés se présente dans des conditions physiques spéciales. C'est un grand lac de 250 m. de long environ sur 40 à 50 m. de large, enchâssé sur le versant Nord du massif des Aiguilles de Chambeyron, à 2535 m. d'altitude. On ne voit ni affluent ni émissaire, et il doit être alimenté par des sources sous-lacustres issues des petits glaciers de Marinet qui le dominent à quelques centaines de mètres vers l'amont [15] (pl. I).

---

[13] En tout cas, il n'en est pas fait mention dans l'ouvrage de O. Pesta : Der Hochgebirgsee der Alpen-Versuh einer limnologischen Charakteristik, 1929 (*in* : Die Binnengewässer, von A. Thienemann, Bd. VIII, 1929).

[14] Sur les Algues cariantes du groupe des Cyanophycées, à propos d'observations nouvelles faites au lac de Marinet, dans le massif de Chambeyron (Basses-Alpes) (*C. R. Acad. Sc.*, t. 198, p. 1449, 16 avril 1934).

[15] On sait que ces glaciers de Marinet, situés à l'altitude de 2700-3000 m., sont les plus méridionaux des Alpes françaises. Après une crue passagère vers

Son bassin est presque entièrement creusé dans des roches siliceuses (quartzites du Trias, grès du Verrucano et andésites du Permien) [16], et ses berges sont encombrées de blocs de toute taille en majorité calcaires (calcaires gris dolomitiques du Trias, calcaires phylliteux du Crétacé supérieur), provenant du lessivage d'une moraine récente du glacier de Marinet. Toute végétation herbacée en est absente [17]. Par contre, *tous les blocs et galets calcaires* situés dans la zone d'oscillation du plan d'eau (au total 3 m. environ), *sont profondément attaqués* et corrodés (pl. II). Dans la zone à sec (observation de septembre 1933), ces blocs montrent des guillochages en cupules ovoïdes très caractéristiques, à patine grisâtre, formée d'Algues desséchées (pl. III, fig. 2). Quant aux blocs immergés, leur surface guillochée est uniformément recouverte par un vernis organique très dense, d'un vert sombre, véritable « couverture biologique » d'Algues microscopiques [18]. Je n'ai pas observé ici de touffes ni de coussinets algueux; le revêtement d'Algues est très mince et continu. M. l'abbé P. Frémy, qui a bien voulu se charger de la détermination des éléments de ce feutrage d'Algues, a reconnu qu'il était formé en majorité par des filaments de *Tolypothrix tenuis* Schmidt et de *Plectonema nostocorum* Born., associés à *Calothrix parietina* Thur., *Schizothrix* sp., *Clastidium setigerum* Kirchn., *Chroococcus minutus* Nag., *Gloeocapsa Kützingiana*

1860, ils ont décru progressivement jusqu'à nos jours et l'on peut dire d'eux que ce sont de véritables glaciers « expirants » (Cf. W. Kilian, *Trav. Labor. Géol. Univ. Grenoble*, t. 5, 1889-1900, p. 678).

[16] M. Gignoux, L. Moret et D. Schneegans, Observations géologiques dans le bassin de la haute Durance entre Gap et la frontière italienne (*Trav. Labor. Géol. Univ. Grenoble*, t. XVIII, 1934). On trouvera dans cette publication des renseignements géologiques sur la région, ainsi qu'une coupe passant par le lac de Marinet.

[17] Et il se différencie en cela d'un lac voisin, plus septentrional, dont les abords sont au contraire envahis par la végétation; ce lac se trouve sur le trajet du déversoir du glacier.

[18] Cf. L. Léger, Les premiers aspects de la vie dans les eaux de montagne. Les couvertures biologiques (*Proc.-Verb. Soc. Dauph. d'Etudes biologiques*, n° 205, 4 janvier 1933, p. 133).

Näg., *Gl. compacta* Kütz., *Gl. magna, Aphanotheca microspora,* quelques *Nostoc* sp., débris de *Bulbochaete* et des Diatomées.

Cette observation du lac de Marinet est intéressante à plusieurs titres :

1° C'est la première fois que le phénomène de la sculpture des roches par des Algues est mise en évidence dans un lac de haute montagne [19].

2° Nous retrouvons ici l'association d'Algues cyanophycées perforantes (*Plectonema*) et cariantes (*Schizothrix, Calothrix, Tolypothrix*) que l'on peut toujours observer chez les galets incrustés et sculptés des lacs les mieux étudiés; notons cependant l'absence des *Rivularia* qui jouent un rôle si actif de ce point de vue dans les grands lacs savoyards. De plus, seuls les blocs calcaires sont attaqués.

3° Le *tapis d'Algues est ici continu* et recouvre aussi bien les parties en relief que les creux, ce qui confirme les vues de Chodat. Les rares parties où la roche est à nu et qui se détachent en clair sur le fond sombre des blocs immergés, sont incontestablement des pistes de larves d'insectes, mais le rôle de ces dernières dans la corrosion du calcaire est très atténué et n'a pas l'importance que lui attribue Forel dans la formation des galets sculptés des lacs de Suisse et de Savoie.

4° Il n'y a *pas ici le moindre dépôt de calcaire,* et nos Algues sont *uniquement cariantes :* elles détruisent plus qu'elles ne construisent. Il est donc prouvé que certaines Cyanophycées peuvent se développer sans précipiter le calcaire du milieu aqueux dans lequel elles sont plongées. La fonction cariante et la fonction incrustante sont donc distinctes; si la seconde peut

---

[19] Signalons cependant que des galets sculptés calcaires viennent d'être découverts à l'altitude de plus de 4000 m., dans un petit lac des Andes (Cf. Otto Welter, Rodados esculpidos de la Laguna Yanahuin, Cerca de Huaron. *Bull. Soc. Geol. del Perù,* t. V, 1929-1932, p. 33, 4 fig., Lima, 1933). L'auteur présente des arguments en faveur de leur origine organique et insiste sur la généralité du phénomène.

dans certaines conditions s'arrêter, la première, au contraire, agit d'une façon permanente. On peut se demander si le mode végétatif de ces Algues du lac de Marinet, en revêtement continu et uniforme, n'est pas dû à la carence de la fonction incrustante, laquelle, dans d'autres conditions (en milieu calcaire notamment), forcerait l'Algue à adopter, pour prospérer, le mode végétatif en petites touffes [20].

Il est d'ailleurs remarquable que les sculptures des galets de ce lac n'affectent pas l'allure méandriforme de ceux des lacs subalpins; elles se présentent en effet sous forme de petites cupules ou alvéoles indépendantes plus ou moins régulières, plus ou moins profondes.

L'absence de dépôt calcaire peut, à mon avis, s'expliquer par le fait que *l'eau du lac de Marinet possède une minéralisation extrêmement faible;* son bassin est en effet établi, ainsi que nous l'avons déjà dit, dans des roches siliceuses; de plus, situé à une altitude élevée, en plein Nord et dans une région où de magnifiques sols polaires (sols polygonaux et rayés) témoignent d'une température moyenne assez rude, ce lac doit rester gelé pendant la plus grande partie de l'année; il s'ensuit que les conditions se montrent assez peu favorables à la dissolution du calcaire, source habituelle d'acide carbonique pour nos Algues. De fait, une analyse chimique des eaux de ce lac, pratiquée par M. J. Abonnenc sur des échantillons que je lui avait rapportés, a donné les résultats suivants :

Résultats exprimés en milligrammes par litre :

Degré hydrotimétrique total	6
Degré hydrotimétrique permanent (après ébullition)	4
Extrait sec	96
Degré alcalimétrique en CO^3Ca	45

[20] L'influence de l'allure du mode végétatif sur le style des corrosions du substratum est des plus nettes chez certains Lichens calcicoles qui croissent sur les calcaires miocènes du littoral de la Cyrénaïque. Ainsi que j'ai pu l'observer en 1935, ces Lichens, dont le thalle très découpé possède une allure méandriforme, déterminent sur les calcaires des sculptures très caractéristiques rappelant celles produites par les Algues lacustres cariantes (Pl. III, fig. 3).

Chaux en CaO (moins celle du carbonate)	3
Magnésie en MgO	2
Sels de fer en Fe^2O^3	traces
Sulfates en SO^3	8
Chlorures en NaCl	6
Silice en SiO^2	6

Il s'agit donc bien d'une eau à minéralisation faible et dont la teneur en sels minéraux ne présente rien de particulier quant à la répartition des différents sels qu'on trouve ordinairement dans l'eau; cette répartition est normale. Quant à la conductibilité électrique, exprimée en ohms par cm. à 18°, elle est de $98_{10^{-6}}$.

5° Reste à *expliquer le phénomène de la carie,* manifestement lié à la présence des Algues. Il est certain que l'attaque du calcaire, phénomène primordial, procède sur toute la surface des blocs sculptés, puisque le revêtement algueux est continu.

Nous avons suggéré que ce mode végétatif en tapis uniforme, sans coussinets, était précisément dû à cette absence de précipitation du calcaire. Il est donc impossible d'appliquer au lac de Marinet l'explication que Le Roux a proposée pour les galets sculptés du lac d'Annecy, explication fondée sur la présence des coussinets d'Algues incrustées.

Dès lors, il semble que l'on puisse assimiler ici le phénomène de la sculpture à une sorte de dissolution lente, analogue à celle que subit un caillou calcaire plongé dans un acide étendu, où seules les propriétés physiques de la roche (différences de compacité, fissures et joints de stratification, etc.) ou chimiques (présence dans le calcaire d'impuretés plus ou moins insolubles, silice, dolomie) règlent la progression du phénomène. Déjà Forel, puis Le Roux, ont insisté sur l'importance de la nature physique de la roche dans le résultat morphologique de la sculpture des galets par les Algues. Le phénomène ne serait pas sans analogie, du moins quant aux résultats, avec celui de la formation des « lapiaz » et de certaines sculptures analogues qui se présentent chez les roches calcaires (ex. pl. III, fig. 5).

Outre son action mécanique de dissociation, telle qu'elle a été

exposée par Chodat (v. plus haut), l'Algue posséderait une action corrosive dissolvante du calcaire, et tous ces phénomènes seraient ici réglés par la nature physique et chimique de la roche. Il est donc fort possible que, suivant l'ingénieuse hypothèse également envisagée par Chodat, l'Algue ne trouvant pas dans l'eau le bicarbonate de chaux auquel elle emprunte le carbone, s'adresse ici directement au calcaire de son support.

b) Lac Mort. — Situé sur le plateau de Laffrey, au Sud de Vizille et à l'altitude de 930 m., ce lac est, comme tous ceux de la région, d'origine glaciaire. Son bassin, profond de 24 m. 50, est entouré par le Cristallin et le Houiller du dôme de La Mure; la couverture triasico-liasique de ce dôme n'apparaît que sur la rive Ouest, tandis que le long de la rive Sud se montre une importante moraine abandonnée par le glacier würmien de la Romanche.

Ce lac, utilisé comme réservoir d'accumulation, a été complètement vidangé en 1934, ce qui m'a permis d'y faire, en compagnie de MM. Gignoux et P. Lory, un certain nombre d'observations intéressantes.

Tout d'abord, son bassin est en partie colmaté par d'importants dépôts de boues argileuses d'un bleu sombre, qui se sont surtout accumulées le long des berges pour donner un talus sous-lacustre très développé [21].

---

[21] C'est ce talus qui s'est éboulé par zones concentriques lors de la vidange du lac. Cette forme topographique sous-lacustre est extrêmement suggestive et montre que dans un bassin de sédimentation, même de faible étendue, les apports les plus fins se déposent surtout en bordure et épousent la forme du bassin.

L'étude morphologique des dépôts quaternaires de la région devra tenir compte de cette observation. Ces dépôts se présentent, en effet, en talus successifs que l'on est en général tenté d'interpréter comme des formes d'érosion emboîtées nécessitant l'intervention de périodes alternées de creusement et de remblaiement. Or, dans certains cas, cette interprétation serait inexacte. Le problème s'est notamment posé à propos des argiles lacustres anté-wurmiennes du Grésivaudan (ex., argiles d'Eybens). (Voir à ce sujet : Fr. Bourdier, *C. R. Acad. Sc. Paris*, t. 201, p. 977, 18 novembre 1935.)

La coupe de ce talus, à partir des régions les plus profondes du lac, est la suivante : à la base ,sur plusieurs mètres d'épaisseur, se voient des marnes crayeuses bleues bien litées, tourbeuses et micacées à leur partie supérieure où elles renferment un niveau à *Pisidium nitidum* Jen.[22]; puis vient un lit tourbeux peu épais, noir, qui, en certains points, est un véritable feutrage de branches et même de troncs d'arbres, parmi lesquels j'ai pu recueillir, en compagnie de M. le professeur Léger, une corne et une mâchoire de Ruminant; enfin, au-dessus, le replat du talus est formé par des argiles bleues et grises, épaisses de 1 m. 50 à 2 m., qui renferment de nombreux galets calcaires et surtout siliceux (pl. IV). Ceux de ces galets qui sont épars à la surface présentent des sculptures nettes et de légères incrustations calcaires. De plus, les parois rocheuses de grès et de schistes houillers qui bordent la rive Nord-Ouest du lac, ainsi que le petit îlot qui émerge dans la moitié Nord du bassin, sont également recouverts, jusqu'à une profondeur de 8 m. environ, d'incrustations méandriformes très minces, d'un blanc de givre et d'un effet très curieux.

Les *galets calcaires* sont surtout liasiques (calcaire à entroques de Laffrey), quelques-uns sont triasiques (calcaire dolomitique); tous présentent de *profondes sculptures* du type méandriforme et ne montrent d'incrustations calcaires qu'au sommet des crêtes (pl. III, fig. 4, et pl. IV, fig. 4). Au contraire, les roches et les *galets siliceux* (grès fins du Houiller ou gneiss amphiboliques) sont surtout caractérisés par l'*importance qu'y prennent les dépôts méandriformes de tuf,* entre lesquels les sillons montrent un *fond de roche à nu à peine attaqué,* ou même pas attaqué du tout (pl. IV, fig. 1, 2 et 3).

Les eaux du lac Mort étant un peu calcaires[23], nos Cyano-

---

[22] Dét. J. Favre.

[23] Voici les résultats de l'analyse chimique des eaux de ce lac (communiquée par les Etablissements Keller et Leleux, à Livet) :

Matières organiques en suspension (en grammes).....	0,0185
Matières minérales en suspension (en grammes).....	0,0053

phycées cariantes ont repris leur mode végétatif en coussinets confluents et ont précipité ce calcaire suivant le processus habituel pour donner du tuf. Ce tuf est d'ailleurs peu développé, comparativement à celui qui se précipite dans les lacs très carbonatés, et ne forme sur les plaques rocheuses et sur les galets de la grève que de minces revêtements; il est aussi beaucoup plus blanc et plus dur que celui du lac d'Annecy en particulier, dont les incrustations sont toujours volumineuses, friables et jaunâtres. Ajoutons que l'acidité des eaux du lac Mort doit faciliter la dissolution du calcaire et compléter l'action corrosive des Algues en approfondissant les sillons des galets sculptés calcaires.

C. — Roches et galets sculptés des lacs de Cyrénaïque.

La zone côtière de la Cyrénaïque présente un certain nombre de lacs de dolines creusés dans les calcaires subhorizontaux du Miocène. L'un de ces lacs, le lac de Vénus, ou de Bou Dzira, a

---

Analyse de l'eau filtrée, en grammes par litre :

Résidu sec à 105°	0,5355
Résidu fixe (carbonates reconstitués)	0,1567
Silice	0,0045
Alumine	0,0004
Oxyde de fer (FeO)	0,0009
Oxyde de fer (Fe^2O^3)	traces
Oxyde de manganèse (MnO)	0,0006
Chaux (CaO)	0,0525
Magnésie (MgO)	0,0126
Alcalis (K^2O et NaO)	0,0420
Chlore (Cl)	0,0025
Anhydride sulfurique (SO^3)	0,0136
CaO des bicarbonates	0,0440
CO^2 libre	0,0090
Matières organiques (acides ulmiques et humiques), en poids	0,3788

Les eaux du lac Mort sont toujours plus ou moins opalescentes, à cause de la présence d'argile colloïdale en suspension, que la présence de sels calcaires et d'acides organiques (même en dose élevée) sont impuissants à faire floculer naturellement. On sait maintenant que, seuls, certains sels alcalins pourraient arriver à ce résultat. L'existence de ces troubles explique peut-être la flore relativement pauvre de ce lac, ces troubles jouant le rôle de filtre pour la dispersion des plantes. (Cf. M. Langeron, Note sur la phytostatique et la floculation naturelle des eaux limoneuses. *Bull. Soc. Bot. de France*, t. XLIX, Session extraordinaire de Bordeaux, juillet-août 1902, p. XXVII.)

particulièrement attiré mon attention lors d'un récent voyage en Lybie [24] (pl. V).

Ce lac se trouve à 6 km. au Nord-Est du port de Benghasi et à 3 km. 500 de la côte, environ. Sa longueur est approximativement de 1 km. et sa largeur de 500 m. Les eaux sont légèrement saumâtres et hébergent de petits *Cardium edule;* mais, ce qui est intéressant, c'est que toutes ses rives, formées de calcaires miocènes, sont recouvertes par une pellicule verdâtre de tuf calcaire de quelques millimètres à 1 centimètre d'épaisseur et que les affleurements rocheux et les galets présentent des traces nettes de carie. Là encore, de minuscules Algues sont la cause du phénomène. En effet, M. l'abbé Frémy, qui a bien voulu étudier quelques fragments de cette couche organique calcaire, y a trouvé une association de trois Cyanophycées abondantes : *Rivularia rufescens* Nag., *Schizothrix vaginata* Gom., *Gloeocapsa Kützingiana* Nag., parmi lesquelles les deux premières sont des formes cariantes et incrustées tout à fait typiques.

IV. — Les phénomènes déterminés par les Algues lithophages au cours des temps géologiques.

A. — Algues incrustantes et sédimentation.

Les recherches de Langeron (*loc. cit.*) ont montré que beaucoup de formations géologiques calcaires (tufs, travertins, etc.) devaient avoir une origine très semblable à celle des tufs et travertins actuels et que des Algues ou autres végétaux, ainsi que des larves d'insectes, étaient intervenues pour provoquer et façonner le dépôt du calcaire.

C'est en particulier le cas du célèbre travertin de Sézanne de l'Eocène inférieur du Bassin de Paris, dans lequel cet auteur a

---

[24] Réunion de la Société Géologique italienne en Cyrénaïque (avril 1935) (*C. R. som. Soc. Géol. France*, 3 juin 1935).

retrouvé toutes les particularités des tufs qui se précipitent actuellement dans les sources incrustantes du Jura. Les recherches récentes des pétrographes ont montré que nombre de formations géologiques calcaires concrétionnées, lacustres ou marines, étaient dues à l'activité biologique d'Algues inférieures (*Chlorellopsis*, Cyanophycées, Siphonées), dont beaucoup ont été retrouvées en place dans la roche même qu'elles ont contribué à construire. C'est ainsi qu'il en a été signalé, formant même parfois de véritables petits récifs, dans les couches lacustres du Miocène d'Allemagne par Reiss, dans les formations éocènes lacustres d'Amérique par Bradley, dans l'Oligocène supérieur de la Limagne et dans les calcaires pisolithiques du Jurassique moyen de la Normandie, par Dangeard [25], dans les formations marines du Primaire et jusque dans le Précambrien américain, par Walcott.

Certaines de ces Algues appartenant au groupe des Siphonées, les Girvanelles, jouent même, pour certains auteurs, un rôle considérable dans la formation des petites concrétions calcaires connues sous le nom d'oolithes et de pisolithes qui forment parfois à elles seules des masses énormes de sédiments dans le Bathonien, le Trias et même le Calcaire carbonifère [26].

B. — Algues perforantes des sédiments géologiques.

Lorsque l'on examine au microscope des lames minces de roches sédimentaires marines, il est bien rare que l'on ne puisse y mettre en évidence les traces du travail de ces organismes microscopiques.

Les petits fragments de calcaire, les morceaux de test de Mollusques par exemple, montrent presque toujours d'innom-

---

[25] *C. R. Acad. Sc. Paris*, t. 190, 1930, p. 6; t. 192, 1931, p. 172. Du même auteur, voir également : *Bull. Soc. Lin. de Normandie*, 8e série, t. VII, 5 mars 1934, et *Bull. Soc. Géol. France*, 29 avril 1935.

[26] P. Frémy et L. Dangeard, Sur la position systématique des Girvanelles (*Bull. Soc. Lin. de Normandie*, 8e série, t. VIII, 1935, p. 101).

brables petites perforations tubulaires droites, très fines, de 2 à 5 μ de diamètre, souvent soulignées par un remplissage secondaire d'oxyde de fer. D'autres de ces perforations sont, au contraire, sinueuses et pelotonnées à leur extrémité, et, dans ce dernier cas, l'intérieur du tube est presque toujours rempli de minuscules granules de carbonate de chaux. Toutes ces perforations sont dues à des Algues perforantes lithophages, qui finissent par détruire complètement les substances calcaires auxquelles elles se sont attaquées et dont elles soulignent la périphérie d'une bordure grisâtre. Ces Algues manifestent une prédilection marquée pour les débris de coquilles, mais, d'après Cayeux [27], semblent négliger les fragments de Crinoïdes.

Ces organismes perforants sont connus dès le Primaire et leur action est analogue à celle des Algues qui attaquent les coquilles rejetées par le flux sur nos côtes actuelles (Nadson, *loc. cit.;* Bornet et Flahault, *loc. cit.*).

Si ces Algues des sédiments géologiques ont eu un rôle très marqué dans la destruction des nombreux débris calcaires qui tapissaient le fond des anciennes mers, elles ont eu, par contre, un rôle constructeur indéniable, puisqu'elles sont probablement responsables des innombrables petits globules calcaires élaborés au cours de leur pénétration dans les substances calcaires.

Ces granules forment le fond des roches calcaires dites « granuleuses » (J. de Lapparent, *loc. cit.*), mais, si nous constatons le résultat de l'activité biologique de ces Algues, nous ne l'expliquons pas encore d'une façon satisfaisante. Détachent-elles directement ces petits grains pour les rejeter ensuite à la façon de certaines Eponges perforantes (Cliones)? Elaborent-elles ce calcaire de toute pièce, comme le croit Chodat pour certaines Algues perforantes lacustres? Il est encore difficile de répondre à ces questions d'une façon précise et certaine. Le fait constaté, c'est que ces granules abondent dans certains sédiments au

---

[27] Introduction à l'étude pétrographique des roches sédimentaires (*Mém. expl. Carte géol. France*, Paris, 1916, p. 351). Voir également, J. de Lapparent, Leçons de pétrographie. Paris, Masson, 1923.

point d'en constituer la masse entière (ex. calcaires granuleux du Portlandien, calcaire lithographique de Solenhofen, calcaire du Muschelkalk moyen d'Alsace, etc.), et qu'elles y sont toujours associées avec des débris en voie d'attaque. Ces Algues ont donc surtout ici un rôle dans la transformation des roches. En effet, un sédiment qui se serait primitivement déposé à l'état de calcaire à débris calciteux (calcaires graveleux de J. de Lapparent) s'est progressivement transformé, sous leur action, en un calcaire finement granuleux.

Conclusion.

Les quelques observations que nous avons versées au débat des Algues lithophages montrent que ces organismes présentent une grande répartition non seulement en latitude, mais aussi en altitude, et que leur action biologique (formation de tufs, carie des roches, forme de cette carie) semble être sous la dépendance de la nature chimique de l'eau dans laquelle elles vivent et de la roche sur laquelle elles se fixent.

On voit aussi que la collaboration de la vie, spécialement en ce qui concerne l'activité encore bien mystérieuse des Algues inférieures dans la formation et la destruction des sédiments calcaires actuels ou passés, est loin d'être négligeable. Cette étude montre, en outre, que ces petites Algues n'ont guère varié leurs méthodes au cours des âges et que les phénomènes d'incrustation et de carie des roches calcaires sont aussi répandus dans l'espace que dans le temps. Elle précise enfin l'appui mutuel et fécond que peuvent se prêter en la circonstance la Biologie et la Géologie.

Addenda : Outre l'ouvrage de Pesta déjà cité, on trouvera des généralités et des indications bibliographiques sur la biologie et la physique des lacs *in* Léon Moret, Considérations sur le plancton des lacs alpins de Savoie et du Dauphiné (*Trav. Labor. Pisciculture de l'Univ. de Grenoble,* t. 11, 1926).