

La première révolution du plancton

L'étude de l'évolution du phytoplancton se heurte à de nombreuses difficultés : définir précisément les différents groupes de phytoplancton et retrouver leurs traces. Il est toutefois possible de remonter jusqu'au Paléozoïque et même de montrer qu'une autre révolution planctonique a eu lieu bien avant celle du Mésozoïque évoquée par Ronald Martin et Antonietta Quigg.

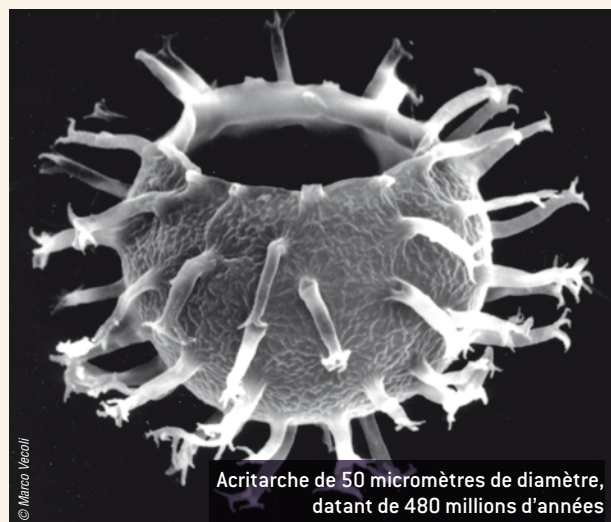
Le phytoplancton dans les océans actuels est formé de trois principaux groupes : les coccolithophoridés (avec une coquille en carbonate de calcium), les diatomées (avec des valves en silice) et les dinoflagellés (produisant des kystes en matière organique). L'analyse des fossiles permet de suivre leur évolution, mais seule une petite partie du phytoplancton est fossilisée. Martin Head, de l'Université de Brock, au Canada, et ses collègues ont ainsi estimé que seuls 17 pour cent des espèces actuelles de dinoflagellés fossilisent.

Peut-on savoir si ces trois groupes ont existé au Paléozoïque ? Cela pourrait être le cas des coccolithophoridés et des dinoflagellés. Ces derniers sécrètent, par exemple, une substance qui leur est spécifique et que l'on re-

trouve dans les sédiments du début du Paléozoïque.

Mais ces trois groupes de phytoplancton ne sont pas les seuls à jouer un rôle important. Le picoplancton se distingue par sa taille, inférieure à deux micromètres. Il est surtout constitué de bactéries – on parle aussi de bactérioplancton. L'enregistrement fossile de ce groupe est quasi inexistant. Même son rôle aujourd'hui dans les océans est mal connu. Pour certains chercheurs, il représenterait une masse de matière organique supérieure à celle des autres groupes.

Les trois groupes majeurs du phytoplancton moderne ne sont pas présents dans les sédiments antérieurs à l'extinction de la fin du Paléozoïque (aussi nommée extinction du Permien-Trias). Pourtant, le phytoplancton est bien présent au Paléozoïque sous d'autres formes, notamment d'acritarches, qui sont, avec leurs kystes en matière organique, les précurseurs en quelque sorte des dinoflagellés. Ces acritarches ont eu au Paléozoïque un rôle équivalent à celui du phytoplancton moderne au Mésozoïque et au Cénozoïque. Au Cambrien et à l'Ordovicien, ils se sont



Acritarche de 50 micromètres de diamètre, datant de 480 millions d'années

massivement diversifiés et ont servi de nourriture aux nouveaux groupes de zooplancton apparus à la fin du Cambrien (graptolites, chitinozoaires, radiolaires, foraminifères).

La vie s'est diversifiée rapidement pour atteindre ses plus hauts niveaux de diversité au Paléozoïque moyen. Ce phénomène a été encouragé par des niveaux marins élevés recouvrant des plates-formes continentales peu profondes, milieu propice au développe-

ment des organismes. On parle ainsi de la première « révolution du plancton ».

Il reste à rechercher la présence du phytoplancton calcaire et siliceux au Paléozoïque et à comprendre, notamment avec des méthodes de biomarqueurs, l'importance du bactérioplancton durant les époques géologiques lointaines.

Thomas Servais
UMR Géosystèmes,
CNRS-Université de Lille 1

originelles, ce qui, par le jeu des mutations et de la sélection naturelle, conduit à la formation de nouvelles espèces.

L'un des premiers indices qu'une forte hausse de l'abondance en phytoplancton a pu être partiellement responsable de l'explosion biologique après le Paléozoïque est apparu dans les années 1990. Des chercheurs, dont Richard Bambach, aujourd'hui à l'Institut Smithsonian, et l'un de nous (R. Martin), déduisirent à partir de l'analyse de fossiles d'animaux marins que la disponibilité en nourriture a nécessairement augmenté entre le Paléozoïque et le Cénozoïque. Cette conclusion reposait sur la constatation que les prédateurs et les autres espèces, qui consomment plus d'énergie que le zooplancton, ont représenté une proportion de plus en plus importante de la vie marine au fil du temps. Plus récemment, avec Victor Podkovyrov de l'Académie russe des sciences, nous avons trouvé des signes qui confortent cette hypothèse en observant des fossiles de plancton marin.

Nous avons montré qu'au Paléozoïque, un certain type de phytoplancton – les « algues vertes » – formait la base de la chaîne alimentaire marine, et que les prédateurs étaient relativement rares. Mais après que l'extinction massive du Permien a éradiqué l'essentiel des organismes marins, y compris la plupart des algues vertes, de nouvelles sortes de phytoplancton sont apparues, à commencer par les coccolithophoridés, ainsi nommés pour leur coquille en carbonate de calcium, ou « coccolithe », qu'ils sécrètent probablement pour se protéger. Ces organismes végétaux ont été bientôt rejoints par les dinoflagellés et les diatomées, qui allaient former le phytoplancton le plus varié et le plus abondant. Ces trois groupes – réunis sous le terme d'algues rouges, à cause du type de chlorophylle qu'ils utilisent lors de la photosynthèse – ont en grande partie remplacé les algues vertes du Paléozoïque, devenant ainsi la nouvelle ressource alimentaire du milieu marin.

Pourquoi les algues rouges ont-elles pris l'ascendant sur les formes vertes qui avaient survécu à l'extinction de la fin du Permien ? Des changements dans la disponibilité de micronutriments (des nutriments disponibles en faibles concentrations) utilisés dans la photosynthèse semblent avoir joué un rôle important.

Vert contre rouge

L'un de nous (A. Quigg) et ses collègues à l'Université Rutgers, aux États-Unis, ont analysé le contenu en micronutriments des algues vertes et rouges actuelles. Ils ont montré que les algues vertes ont de plus fortes concentrations en fer, zinc et cuivre que leurs homologues rouges. Ces dernières présentent de plus grandes quantités de manganèse, cobalt et cadmium. Ces différences suggèrent que, suivant les abondances des différents micronutriments, un type de phytoplancton s'est développé plus que l'autre.

L'étude géologique corrobore cette hypothèse. La profusion de roches riches en matière organique – du schiste noir – datant du Paléozoïque indique que les concentrations d'oxygène dans les océans devaient être faibles à cette époque; en effet, l'exposition à des concentrations d'oxygène plus élevées aurait causé la décomposition de la matière organique. Dans ces conditions, le fer et les autres micronutriments grâce auxquels les algues vertes se sont épanouies se seraient dissous plus facilement dans l'océan et auraient été facilement disponibles pour la photosynthèse.

Les schistes noirs du Mésozoïque sont en revanche plus rares. Cela implique que, dans l'ensemble, les concentrations d'oxygène étaient alors bien plus élevées. Ces conditions auraient aidé les micronutriments utilisés par le phytoplancton de lignée rouge à demeurer dissous dans les océans et consommable.

La part de l'érosion

Mais les changements de concentration des micronutriments durant le Mésozoïque n'expliquent pas à eux seuls le développement important du phytoplancton, et en particulier des algues rouges. Nous avons envisagé que les changements de disponibilité en macronutriments (éléments nutritifs disponibles en plus fortes concentrations), tels que le phosphore, ont aussi contribué au succès de ces groupes. Et ces macronutriments, utilisés par le phytoplancton dans des processus biochimiques fondamentaux tels que la synthèse de l'ADN, semblent avoir gagné les océans à partir d'événements qui ont eu lieu sur la terre ferme.

Vers la fin du Paléozoïque et au Mésozoïque, les forêts se sont étendues sur les continents et le climat a commencé à se faire plus humide, augmentant les phénomènes d'érosion sur les continents. L'altération physique et chimique résultant du processus de fragilisation des sols par les racines, de la décomposition des feuilles mortes et de la formation d'humus a augmenté. Cela aurait favorisé le ruissellement d'éléments nutritifs du sol et de détritux végétaux dans les bras de mer peu profonds où le plancton prospérait. L'émergence des plantes à fleurs, au cours du Mésozoïque, aurait renforcé le ruissellement de nutriments, parce que leurs feuilles mortes se

décomposent plus rapidement que celles des conifères, cycas et autres arbres qui formaient les premières forêts.

Des preuves de l'érosion continentale proviennent d'analyses du rapport des concentrations des différents isotopes de l'élément strontium contenus dans les coquillages fossiles (voir l'encadré page 51). Les roches continentales sont plus riches en strontium 87 que les roches océaniques. Comme on observe dans les coquillages fossiles une augmentation du rapport strontium 87/strontium 86 au cours du temps, il semble que les éléments nutritifs étaient transportés des terres vers les océans en quantités de plus en plus grandes, comme on s'y attendrait en cas d'érosion continentale. Des études isotopiques similaires conduites sur un autre élément, le lithium, confirment la tendance.

Les études isotopiques confirment non seulement l'existence de tels flux

en provenance des terres, mais ont aussi appuyé l'idée – proposée pour la première fois par l'un de nous (R. Martin) en 1996 – que le ruissellement d'éléments nutritifs issus de l'altération continentale pourrait augmenter la biodiversité du phytoplancton et des animaux qui s'en nourrissent. Si la contribution de nutriments en provenance des terres jouait un rôle dans la diversification du plancton et des créatures pendant le Mésozoïque et le Cénozoïque, on pourrait s'attendre à ce que l'augmentation du rapport strontium 87/strontium 86 dans les coquilles soit parallèle à l'augmentation de la diversité d'espèces marines. Cela a été confirmé en 2010 par les travaux de John Alroy, de l'Université de Macquarie en Australie. Une autre étude, publiée la même année par Andrés Cárdenas et Peter Harries, de l'Université de Floride du Sud, montre une corrélation similaire.



2. UNE EFFLORESCENCE ALGALE se propage dans l'Atlantique en mai 2010. Ce phénomène est fréquent au printemps; il est donc difficile de savoir si les retombées de cendres riches en nutriments du volcan islandais Eyjafjallajökull ont eu un rôle dans la prolifération du phytoplancton. Cependant, en 2008, l'éruption du volcan Kasotochi, dans le Pacifique, a provoqué une efflorescence en apportant du fer au phytoplancton dans une mer pauvre en cet élément.