

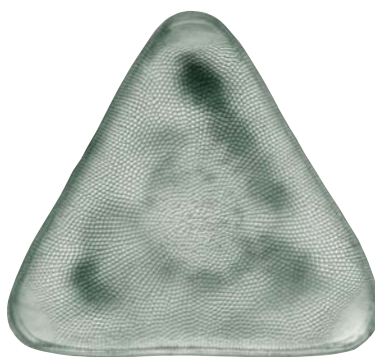
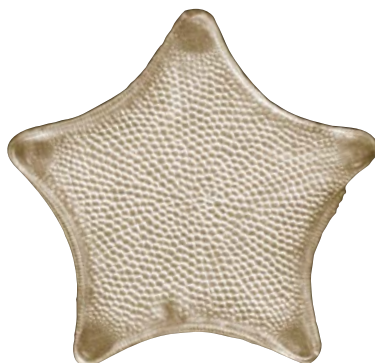
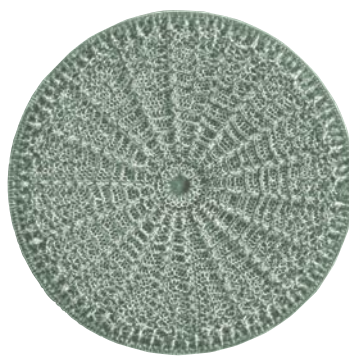
Si vous pouviez remonter le temps et visiter la Terre telle qu'elle était il y a 500 millions d'années, au Paléozoïque, vous ne reconnaîtriez pas votre planète. Les continents étaient, pour la plupart, concentrés dans l'hémisphère Sud ; les océans présentaient des configurations et des courants différents ; les Alpes et le Sahara n'étaient pas encore formés. Les plantes terrestres n'existaient pas. Une différence tout aussi notable concerne les animaux. La plupart des organismes multicellulaires vivaient en mer. Les maîtres des océans étaient les brachiopodes et les trilobites, des cousins disparus des crustacés et des insectes d'aujourd'hui, reconnaissables à leurs exosquelettes, leurs longues antennes et leurs yeux composés.

Après la crise, un boom des espèces

La diversité des animaux marins a augmenté progressivement jusqu'à l'extinction du Permien, il y a 250 millions d'années, qui a vu disparaître plus de 90 pour cent des espèces océaniques. Cela a mis fin à l'ère du Paléozoïque. Le vide laissé par cette catastrophe a entraîné une importante phase de réorganisation, au cours de laquelle s'est établie la domination de nouveaux groupes d'animaux, qui règnent aujourd'hui dans les mers. On retrouve, par exemple, les poissons prédateurs, les mollusques, les crustacés ou encore les oursins.

L'étude des fossiles présents dans les sédiments permet de recenser les espèces et d'estimer l'importance des différentes populations (voir l'encadré page 51). Ces analyses montrent qu'au Mésozoïque et au Cénozoïque, les ères qui ont suivi le Paléozoïque, la vie marine s'est diversifiée à un rythme sans précédent.

Pour expliquer cet essor, les chercheurs ont d'abord pensé que les fossiles les plus anciens avaient disparu sous l'effet de l'érosion, ce qui donnait l'illusion d'une diversification importante. Mais des travaux ultérieurs ont indiqué que cet épanouissement apparent d'espèces marines a été bien réel. Afin d'expliquer le phénomène, les biologistes ont étudié divers facteurs, notamment les changements climatiques et les variations du niveau de la mer, ainsi que l'extinction de certaines espèces, susceptibles de créer de nouvelles opportunités de développement. Pour-



tant, bien que tous ces éléments aient pu contribuer à la diversification amorcée il y a 250 millions d'années, ils ne peuvent à eux seuls être responsables de l'explosion évolutive observée.

Un autre facteur a été sous-estimé : la nourriture disponible sous forme de plantes microscopiques, le phytoplancton. L'étude des fossiles montre que le phytoplancton a connu, après la crise du Permien, une augmentation en quantité et en diversité. Les espèces se nourrissant de phytoplancton y ont trouvé d'abondants nutriments. Ainsi, le développement de ces végétaux microscopiques a accompagné la spectaculaire émergence de nouvelles créatures marines au Mésozoïque et au Cénozoïque.

Selon nous, l'évolution de ces plantes microscopiques, qui sont à la base de la chaîne alimentaire marine, a été le moteur du développement de la faune marine moderne. En outre, cette compréhension nouvelle de la façon dont le phytoplancton a transformé la vie dans les mers anciennes ouvre des pistes de réflexion sur l'avenir des océans actuels. Le phytoplancton reste un élément clé de la chaîne alimentaire ; mais qu'advient-il si les changements climatiques perturbent leur prolifération, comme ils ont déjà commencé à le faire ?

Source d'énergie

Comment le phytoplancton a-t-il joué un rôle crucial dans l'évolution des animaux marins ? Comme toutes les plantes, le phytoplancton exploite l'énergie du Soleil pour fabriquer de la matière organique grâce à la photosynthèse. De minuscules organismes herbivores dérivants – le zooplancton – se nourrissent du phytoplancton et sont à leur tour mangés par des prédateurs situés plus haut dans la chaîne alimentaire. L'azote, le fer, le phosphore et d'autres nutriments présents dans l'eau stimulent la croissance du phytoplancton. Plus ces nutriments sont disponibles, plus le phytoplancton croît et plus le zooplancton s'en nourrit et prolifère.

Non seulement le phytoplancton est plus abondant, il est aussi plus nutritif pour le zooplancton. Ces micro-organismes se développent et se reproduisent alors plus efficacement. Leurs populations augmentent, ils se dispersent et conquièrent de nouveaux territoires. Certaines populations se retrouvent isolées de leurs populations

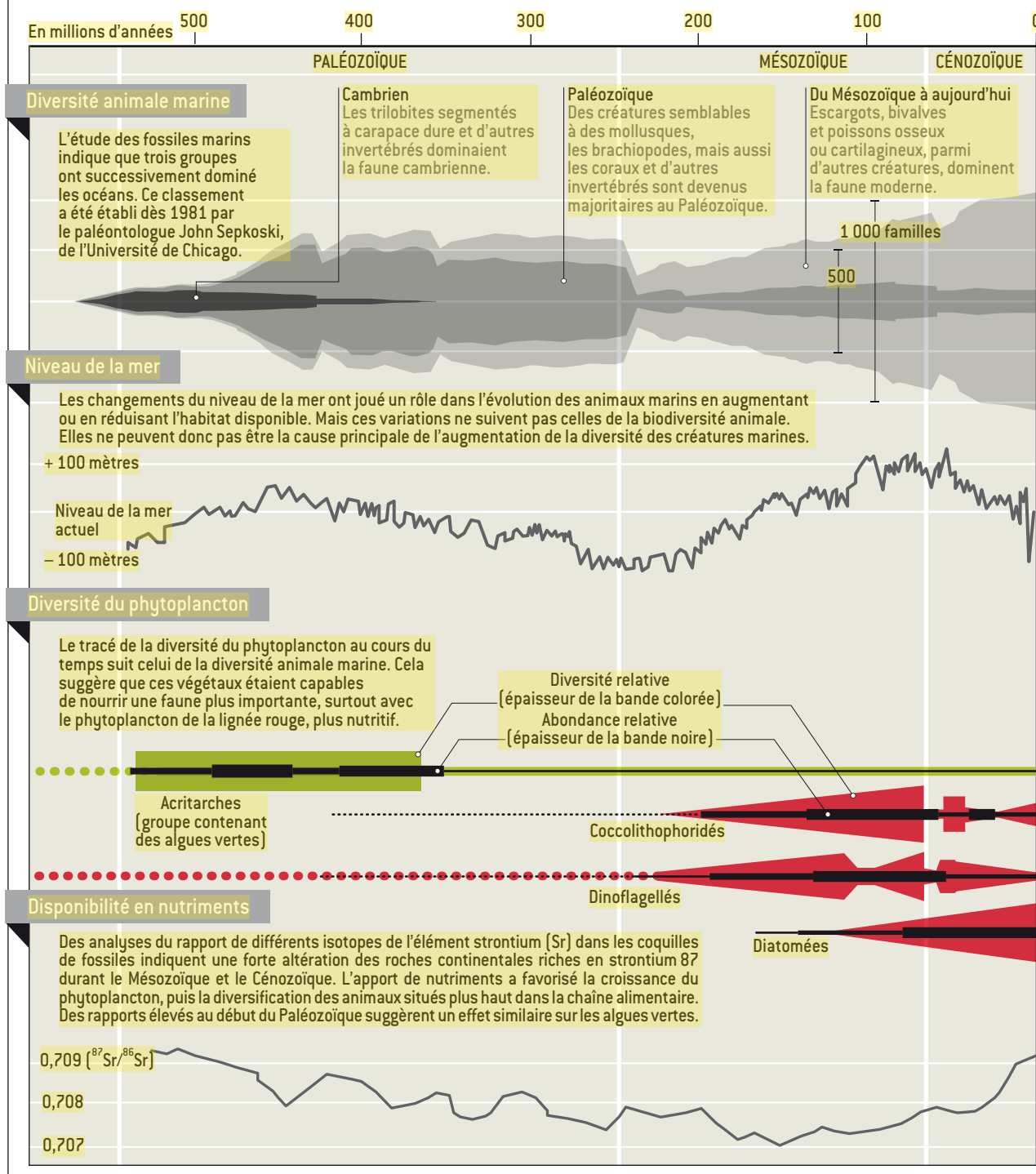
L'EFFET DU PHYTOPLANCTON

L'extinction massive qui marque la fin du Paléozoïque, il y a environ 250 millions d'années, a concerné plus de 90 pour cent des espèces marines (et 70 pour cent des espèces terrestres). Parmi les scénarios proposés pour expliquer cette crise, un volcanisme important – avec la formation de trapps en Sibérie, de vastes plateaux de basalte – a pu altérer le climat.

À la suite de cette crise, durant le Mésozoïque et le Cénozoïque, les animaux marins ont connu une forte diversification, atteignant un nombre d'espèces bien plus élevé qu'auparavant.

Les scientifiques ont d'abord attribué cette explosion à des facteurs physiques, tel le changement du niveau de la mer. Mais l'évolution du phytoplancton – les minuscules végétaux qui forment la base de la chaîne alimentaire marine – aurait joué un rôle important dans cet essor.

L'érosion continentale aurait fourni les éléments nécessaires au développement du phytoplancton, qui s'est multiplié et est devenu plus riche en nutriments. Le phytoplancton a ensuite nourri les autres espèces.



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.