

■ LES AUTEURS

Ronald MARTIN est professeur de géologie à l'Université du Delaware, aux États-Unis.

Antonietta QUIGG est professeur de biologie marine à l'Université A&M du Texas, à Galveston.

■ BIBLIOGRAPHIE

R. Martin et A. Quigg, *Evolving phytoplankton stoichiometry fueled diversification of the marine biosphere*, *Geosciences*, vol. 2(2), pp. 130-146, 2012.

B. Langmann *et al.*, *Volcanic ash as fertilizer for the surface ocean*, *Atmospheric Chemistry and Physics*, vol. 10, pp. 3891-3899, 2010.

T. Servais *et al.*, *Understanding the great Ordovician biodiversity event : influence of paleogeography, paleoclimate, or paleoecology ?*, *GSA Today*, vol. 19, n° 4/5, 2009.

T. Servais *et al.*, *The Ordovician biodiversification : revolution in the oceanic trophic chain*, *Lethaia*, vol. 41, pp. 99-109, 2008.

Des niveaux d'oxygène plus élevés dans les océans et le développement des forêts et des plantes à fleurs n'auraient pas été les seuls facteurs renforçant la disponibilité d'éléments nutritifs pour le phytoplancton. La formation de montagnes lors des collisions de plaques continentales (qui ont conduit à la formation du supercontinent Pangée) expose plus de roches à l'érosion. Ce phénomène, ajouté à la baisse du niveau des océans, se serait traduit, avant le Mésozoïque, par une hausse de l'érosion des terres et le ruissellement de nutriments vers les mers. Le cycle de l'eau a aussi été influencé par la présence des glaciers continentaux qui occupaient l'hémisphère Sud durant la plus grande partie du Paléozoïque tardif. Les glaciers ont refroidi l'eau qui, devenant plus dense, s'enfonça au fond. Cela a entraîné une circulation rapide de l'eau et l'oxygénation des océans. Cet effet d'oxygénation a aussi eu lieu dans les remontées d'eaux profondes riches en phosphore provenant de la décomposition de matière organique.

L'ensemble de ces facteurs aurait créé les conditions favorables permettant au phytoplancton de lignée rouge de prospérer, lui fournissant les micronutriments et les macronutriments dont il avait besoin pour se développer.

Le règne des algues vertes pauvres en nutriments durant la première moitié du Paléozoïque semble avoir limité l'évolution des animaux marins, retardant l'apparition de nouvelles formes de vie au métabolisme plus élevé. Mais lorsque le phytoplancton riche en nutriments a pris une place centrale, les animaux marins qui s'en nourrissaient ont connu une diversification rapide, comme le montre l'étude des fossiles. De nouveaux groupes de poissons prédateurs sont entrés en scène, avec, entre autres, de nouvelles variétés de mollusques, crustacés, coraux et bivalves.

Deux expériences de terrain récentes offrent une preuve de principe que l'apport d'éléments nutritifs que nous avons décrit pourrait avoir suscité la diversification d'animaux multicellulaires. Dans la première, Tron Frede Thingstad, de l'Université de Bergen, en Norvège, et ses collègues ont ajouté du phosphore à des eaux de surface de la Méditerranée orientale, qui sont naturellement très pauvres en nutriments, et particulièrement en phosphore. Ces eaux présentent des conditions qui ressemblent à celles ayant existé au début du Paléozoïque. L'introduction de nutri-

ments a stimulé une rapide absorption du phosphore par le phytoplancton local – bien plus que nécessaire pour une croissance normale. Le contenu en nutriments de ces minuscules végétaux s'est enrichi en un peu plus d'une semaine.

Lors de la seconde expérience, James Elser, de l'Université d'État de l'Arizona, a fourni du phosphore à des communautés de cyanobactéries dans le courant marin de Coahuila, au Mexique. Ces cyanobactéries procèdent à la photosynthèse comme le font les plantes pour se développer. Elles sont similaires à des cyanobactéries qui vivaient durant le début du Paléozoïque. L'excédent de phosphore a provoqué un développement important des cyanobactéries, avec une hausse totale de la masse de matière organique. En outre, les escargots qui se nourrissent de ces cyanobactéries en ont bénéficié et leurs effectifs ont nettement augmenté.

Bien que ces expériences n'aient pas démontré de diversification des espèces (leur durée est trop courte), elles montrent que la hausse en disponibilité de nutriments clés dans les mers a pu accroître rapidement le contenu en nutriments du phytoplancton et que celui-ci pourrait avoir très vite transmis ces bénéfices vers le haut de la chaîne alimentaire à des animaux qui s'en nourrissaient. Ces derniers ont alors consacré plus d'énergie à la reproduction, prérequis à la diversification.

Un retour vers le Paléozoïque

Comprendre comment le phytoplancton réagissait à des conditions environnementales changeantes dans le passé pourrait aider les chercheurs à prévoir quel futur est réservé à la vie marine actuelle. Le dioxyde de carbone émis par les activités humaines réchauffe la planète et acidifie les océans. Dans les siècles à venir, les océans ressembleront, dans une certaine mesure, à ceux du Mésozoïque et du Paléozoïque. Ces modifications perturberont l'équilibre des populations de phytoplancton.

Dans l'océan profond, d'épais dépôts riches en carbonate de calcium, qui se sont formés par l'accumulation de coquilles de coccolithophoridés, auront tendance à neutraliser le dioxyde de carbone dissous. Mais dans les eaux de surface, les coccolithophoridés et d'autres organismes à éléments calcaires pourraient être menacés

par l'acidification, qui réduit considérablement la disponibilité des minéraux nécessaires à leurs coquilles. Bien que de tels organismes aient enduré des changements environnementaux durant des centaines de millions d'années, l'augmentation du dioxyde de carbone est aujourd'hui si importante qu'ils ne seront peut-être pas capables de s'y adapter assez rapidement.

La perte de ces organismes renforcerait le réchauffement. Aujourd'hui, les efflorescences du coccolithophoridé *Emiliania huxleyi* peuvent couvrir des surfaces supérieures à 100 000 kilomètres carrés (voir la figure 2). Elles produisent des quantités notables de sulfure de diméthyle qui, passé dans l'atmosphère, déclenche la formation de nuages. Ces derniers, en réfléchissant la lumière du Soleil vers l'espace, refroidissent la planète. Sans les coccolithophoridés, la Terre absorberait plus d'énergie solaire qu'elle ne le fait déjà.

Le phytoplancton calcifiant qui se développe au sein des récifs sera doublement pénalisé par le dioxyde de carbone anthropogénique. Non seulement l'eau

acidifiée pourrait dissoudre leur squelette, mais le réchauffement de l'eau risque de dépasser leur seuil de tolérance et de les faire disparaître.

Des bouleversements à venir ?

Les émissions de dioxyde de carbone ne sont pas la seule menace que les hommes font peser sur le phytoplancton. L'érosion des sols due à la déforestation et d'autres activités humaines inonde les systèmes côtiers d'éléments nutritifs, conduisant à un développement excessif et à une décomposition importante de végétaux marins. L'équilibre actuel des récifs pourrait s'effondrer et mettre en péril la biodiversité.

En se réchauffant, les océans pourraient se stratifier de plus en plus : l'eau chaude en surface agit comme un couvercle sur l'eau froide, entravant ainsi les courants verticaux et la circulation de l'eau. Ces conditions favorisent les dinoflagellés et risquent d'augmenter les efflorescences toxiques dans les milieux côtiers.

L'étude des bouleversements du passé montre que l'équilibre des populations de phytoplancton est assez fragile et que les changements ont eu des répercussions importantes. Aujourd'hui, des chercheurs étudient, par exemple, les conséquences de la baisse d'oxygénation de l'eau dans le delta du Mississippi ou certains lacs sur le phytoplancton et, *via* un effet de domino, sur les animaux qui s'en nourrissent.

De tels travaux pourraient aider à mieux prévoir comment le phytoplancton et les espèces qui en dépendent se comporteront dans le futur. Ceux qui nient le changement climatique affirment souvent que la vie s'est régulièrement adaptée aux changements environnementaux dans le passé et qu'elle peut ainsi supporter de futures fluctuations ; cette façon de penser est inappropriée. Les activités humaines modifient les conditions océaniques à une vitesse inégalée dans l'histoire de la planète. Nous sommes donc malgré nous en train de mener une expérience inédite, dont l'issue ne sera pas connue avant qu'elle n'arrive à son terme. ■



france culture

LA MARCHE DES SCIENCES

Découvertes, inventions, aventures savantes au fil de l'Histoire

Aurélié Luneau
14h-15h / chaque jeudi

franceculture.fr

SCIENCE

Jean-Marc Delaunay - 2006, Photo: Marc Durand - 8 Photos: Benoît, Christophe, Gilles, Nelly - ADAP: Pire 2013