

UNE EXPLOSION DE VIE POSTGLACIAIRE



À la base de la butte de Nankoweap, dans le Grand Canyon, de fins bancs calcaires alternent avec des niveaux argileux. Les biomarqueurs proviennent de la matière organique contenue dans ces derniers.

Comme le précise Rachel Wood, l'avancée des techniques d'analyse a permis aux paléontologues et aux géologues d'effectuer un pas majeur dans la compréhension de l'origine de la vie sur Terre et de son évolution. Outre les informations paléontologiques, qui fournissent un aperçu fragmentaire de la biodiversité à un moment précis de l'histoire de la planète, de nouvelles techniques géochimiques et isotopiques aident les chercheurs à reconstituer les environnements dans lesquels les organismes évoluaient. Température, salinité, quantité d'oxygène sont autant d'indices qui relient environnement et biodiversité.

Aujourd'hui, grâce à ces techniques, on s'aperçoit que le vivant était bien plus diversifié qu'on ne le pensait durant l'Édiacarien (il y a entre 635 millions et 542 millions d'années). On va même plus loin. L'Édiacarien fait directement suite à un épisode glaciaire extrême, nommé «Terre boule de neige», ayant recouvert la planète entière de glace pendant plusieurs millions d'années. Or, au début des années 1970, les paléontologues américains Stephen Jay Gould et Niles Eldredge ont proposé une hypothèse de travail, dite des équilibres ponctués, selon laquelle l'évolution n'est pas progressive, mais se fait par périodes d'évolution rapide entrecoupées de périodes de stabilité, les pressions environnementales favorisant l'évolution rapide par sélection naturelle. Longtemps critiquée, cette hypothèse est devenue incontournable dans la théorie actuelle de l'évolution,

appuyée par des champs récents de la biologie comme la génétique et l'épigénétique. Il est ainsi probable que le goulet d'étranglement qu'ont représenté les épisodes de type Terre boule de neige ait joué un rôle primordial dans le façonnement de la vie telle que nous la connaissons aujourd'hui.

Pour reconstruire la biodiversité et l'environnement juste après l'épisode qui a marqué le début de l'Édiacarien, devant le manque de fossiles dans les niveaux géologiques correspondants, nous nous sommes tournés vers une technique d'extraction de fossiles moléculaires nommés biomarqueurs. Cette

Les glaciations de type Terre boule de neige ont eu un rôle majeur dans l'évolution de la vie

technique repose sur le fait que différentes espèces synthétisent des molécules organiques qui leur sont propres et qui peuvent être préservées dans les sédiments pendant plusieurs millions d'années. En 2017 et en 2019, grâce à cette technique, nous avons relié ces épisodes glaciaires à deux évolutions biologiques importantes.

La première montre l'apparition à cette période d'une molécule, le 24-éthyl-stérol. Cette molécule rend la membrane cellulaire plus résistante aux variations de température. Cette

innovation biologique aurait donné aux algues vertes un avantage considérable, leur permettant de proliférer et de coloniser la surface de la planète. La deuxième révèle qu'au lendemain de la glaciation, un changement radical s'est opéré dans les écosystèmes : l'évolution concomitante de différents biomarqueurs suggère que la Terre est passée d'un monde majoritairement bactérien à des écosystèmes dominés par des algues unicellulaires qui, d'après l'ampleur du phénomène, ne s'étaient pas contentées d'entrer en compétition avec les bactéries pour s'alimenter, mais s'en étaient elles-mêmes nourries. En d'autres termes, l'émergence de la prédation à l'échelle des microorganismes avait alors, déjà, drastiquement modifié les écosystèmes.

Les glaciations ont longtemps été vues comme des causes d'extinction massive d'espèces. Nous commençons tout juste à comprendre leur rôle de catalyseur de l'évolution. Il reste maintenant à préciser la chronologie des différents événements qu'elles ont causés en étudiant notamment les sédiments du Grand Canyon ou de la vallée de la Mort, qui représentent de véritables archives sédimentaires de ces périodes clés de l'histoire de notre planète. Peut-être, alors, arriverons-nous à relier ces événements à ceux qui, durant l'Édiacarien et le Cambrien, ont conduit à l'explosion des animaux complexes.

PIERRE SANSJOFRE

Laboratoire Géosciences océan, université de Bretagne occidentale, Brest

L. M., van Maldegem *et al.*, *Nature Commun.*, vol. 10(1), article 476, 2019; Y. Hoshino *et al.*, *Science Advances*, vol. 3(9), e1700887, 2017

> plus réduites que les chercheurs ne l'attendaient; elles constituaient de véritables oasis d'eau riche en oxygène. Comment ces facteurs ont-ils pu modeler l'extraordinaire diversification apparue à cette époque?

LES FLUCTUATIONS DE L'OXYGÈNE, UN MOTEUR DE L'INNOVATION?

Les périodes d'anoxie accrue du fond marin coïncident avec certaines extinctions de masse bien connues, comme celle qui a marqué la fin du Permien, il y a 252 millions d'années, au cours de laquelle 90% des espèces marines ont disparu. Mais plusieurs diversifications majeures ont débuté durant de longues périodes d'anoxie fluctuante des eaux peu profondes, notamment les diversifications de l'Édiacarien-Cambrien, de l'Ordovicien (100 millions d'années plus tard) et de la seconde moitié du Trias, il y a environ 247 millions d'années. Considérant ces événements, mon collègue Doug Erwin, de la Smithsonian Institution, et moi avons émis l'hypothèse que les conditions mouvantes en oxygène avaient pu créer des occasions propices à la fixation d'innovations évolutives chez les animaux à corps mou.

Il est bien plus simple pour les animaux de fabriquer un squelette de calcaire – le matériau qui constitue les squelettes et coquilles de nombreux organismes marins modernes – lorsque la concentration en oxygène dans l'eau de mer est supérieure à dix micromoles par litre. Les animaux à corps mou n'ont peut-être été capables de fabriquer ces squelettes de carbonate de calcium que lorsque la concentration en oxygène a atteint un tel seuil, permettant à des oasis auparavant isolées de s'étendre, de se connecter et de parvenir à une stabilité à l'échelle de la planète.

Il reste beaucoup à découvrir sur la façon dont la vie a réagi aux variations de la disponibilité en oxygène à l'échelle de l'évolution. Cette réaction était probablement compliquée, car les animaux étaient aussi soumis à d'autres facteurs, comme l'augmentation de la prédation. De plus, des rétrocontrôles entre les organismes, les écosystèmes et, plus largement, le système planétaire, dont on sait peu de choses, figuraient probablement aussi dans l'équation.

Nous avons du pain sur la planche. Des variations spectaculaires dans les processus régionaux qui ont modelé la croûte terrestre au cours de l'Édiacarien et du Cambrien ont produit de nombreuses lacunes importantes dans les registres fossile et géologique. Par conséquent, pour reconstituer l'histoire de l'essor des animaux complexes, nous devons assembler les données collectées dans une multitude de sites tout autour du monde. Le fait que beaucoup des sites clés de l'Édiacarien soient mal datés complique encore davantage la tâche. Habituellement, nous datons les roches de cette

époque en mesurant le rapport plomb/uranium dans les cristaux de zircon des couches de cendres d'anciennes éruptions volcaniques retrouvées à proximité. Il s'agit de l'une des quelques méthodes qui fournissent un âge absolu, radiométrique, pour une roche donnée. Malheureusement, nombre des successions sédimentaires que nous connaissons le mieux

Les squelettes n'ont peut-être pu apparaître qu'à partir d'un certain seuil en oxygène

sont dépourvues de telles couches. En conséquence, nous sommes incapables de corréliser avec précision les changements évolutifs survenus dans différentes parties du monde, ce qui est essentiel pour créer une chronologie fiable des événements. Un exemple de cette difficulté est la Formation de Lantian, en Chine, qui a livré des animaux fossiles candidats pour être les plus anciens connus, mais dont l'âge remonte à n'importe quelle période entre 635 et 590 millions d'années et est toujours très débattu.

Néanmoins, il existe des raisons d'être optimiste. De nouvelles couches de cendres sont mises au jour et les méthodes de datation sont affinées. Par exemple, les couches de cendres que de nombreuses équipes utilisent pour déterminer les âges des fossiles édiacariens découverts en Namibie ont récemment été redatées et les plus récentes – celles les plus proches de la frontière Précambrien-Cambrien – se sont révélées plus jeunes de plus de deux millions d'années qu'on ne le pensait. Ce qui a des répercussions sur la correspondance réelle entre ces fossiles et leurs homologues de Terre-Neuve et de Sibérie, entre autres. De plus, des géochimistes développent de nouvelles techniques isotopiques et d'autres méthodes susceptibles d'améliorer notre compréhension de l'oxygénation des océans de ce monde ancien. Enfin, mon équipe et d'autres découvrent de nouveaux fossiles dans des lieux reculés et jusqu'ici largement inexplorés, comme la Sibérie. Gageons que dans un futur pas si lointain, quand nous nous tiendrons sur ces falaises, contemplant la grande forêt en contrebas, notre compréhension de cette tranche de temps si extraordinaire sera bien plus profonde. ■

BIBLIOGRAPHIE

R. Wood et al., **Integrated records of environmental change and evolution challenge the Cambrian explosion**, *Nat. Ecol. Evol.*, vol. 3, pp. 528-538, 2019.

M. Zhu et al., **A deep root for the Cambrian explosion : Implications of new bio- and chemostratigraphy from the Siberian Platform**, *Geology*, vol. 45(5), pp. 459-462, 2017.

R. Tostevin et al., **Low-oxygen waters limited habitable space for early animals**, *Nature Communications*, vol. 7, article n° 12818, 2016.