

marques d'éraflures qui suggèrent que ces animaux broutaient des tapis d'algues. D'autres se sont peut-être traînés à travers les algues, absorbant les nutriments *via* la face inférieure de leur corps. Les premières galeries apparaissent aussi à cette époque, preuve que les animaux avaient commencé à se mouvoir et à déplacer les sédiments du fond marin.

Les plus anciens fossiles révélant des squelettes externe et interne apparaissent soudain dans des roches calcaires (principalement constituées de carbonate de calcium) vieilles de 550 millions d'années. On trouve ces fossiles, déjà de tailles et de formes variées, dans des lieux aussi éloignés que la Sibérie, le Brésil et la Namibie. La présence, partout dans le monde et au même moment, de squelettes chez autant de groupes d'animaux sans liens de parenté témoigne d'une force évolutive majeure opérant à l'échelle mondiale. On ne connaît pas sa nature avec certitude, mais on en a une petite idée. Fabriquer un squelette est coûteux en énergie. Aussi, pour qu'un animal se lance dans une telle entreprise, les bénéfices doivent surpasser les coûts. Les raisons susceptibles de favoriser la présence de squelettes sont nombreuses, mais la principale est, de loin, le besoin de se protéger des prédateurs. Bien qu'il n'existe pas de preuve fossile de prédateurs de cette époque, l'apparition de squelettes pourrait refléter la première manifestation d'animaux qui en mangeaient d'autres à une large échelle.

UN ANCIEN CONSTRUCTEUR DE RÉCIFS

Des analyses récentes de ces anciens squelettes ont livré des indices séduisants sur l'aspect de leurs propriétaires et sur leur mode de vie. Connu à partir de fossiles de son délicat squelette tubulaire qui mesurait jusqu'à 70 millimètres de long et ressemblait à un empilement de cornets de glace, un organisme nommé *Cloudina* occupe une place importante dans nos reconstitutions des écosystèmes de l'Édiacarien. *Cloudina* a été découvert pour la première fois en Namibie en 1972, et on a longtemps pensé qu'il se développait fixé au fond marin. Mais ces dernières années, des chercheurs ont identifié de nombreux nouveaux spécimens de *Cloudina* dans des sites de par le monde, qui ont changé ce point de vue. Le travail de mon équipe sur des spécimens de Namibie a montré que *Cloudina* croissait de différentes manières. Il pouvait se fixer à des tapis de microbes liés aux sédiments mous du fond marin ou s'ancrer à des couches superposées de cyanobactéries. Mieux, les individus *Cloudina* étaient capables de se cimenter les uns aux autres et de former un récif. Cette découverte a permis d'établir que *Cloudina* était l'un des plus anciens animaux constructeurs de récifs, reculant le record de ce mode de vie de quelque vingt millions d'années.



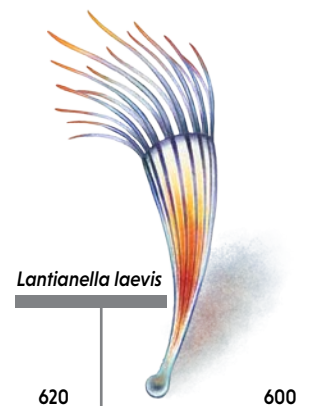
Des fossiles clés d'animaux complexes proviennent de roches de l'Édiacarien sur les rives de la rivière Youdoma, en Sibérie (1) et en bordure du désert du Namib, en Namibie (2).

On ignore si *Cloudina* a un lien de parenté avec des constructeurs de récifs modernes, tels les coraux. Mais comme les coraux constructeurs de récifs, il vivait à proximité d'un certain nombre d'autres animaux. Des indices sur cette association étroite ont été retrouvés à partir d'autres fossiles à squelettes, découverts dans des roches du même âge que celles qui contiennent les fossiles de *Cloudina*. Un organisme nommé *Namacalathus*, connu dans divers sites fossilifères autour du globe, semble avoir été l'un des compagnons de *Cloudina*. Son squelette, qui pouvait atteindre 50 millimètres de long, était composé d'une délicate tige à paroi fine surmontée d'une coupe munie d'une ouverture centrale sur le dessus et de plusieurs autres sur les côtés. Les tissus mous de l'animal se trouvaient probablement en grande partie à l'intérieur de la coupe, bien qu'ils n'aient jamais été préservés. Les fossiles de *Namacalathus* indiquent qu'il croissait enraciné à un tapis microbien, souvent près de *Cloudina*.

Namapoikia, un organisme connu uniquement à partir de sites namibiens, côtoyait lui aussi *Cloudina*. Cet animal est remarquable par >

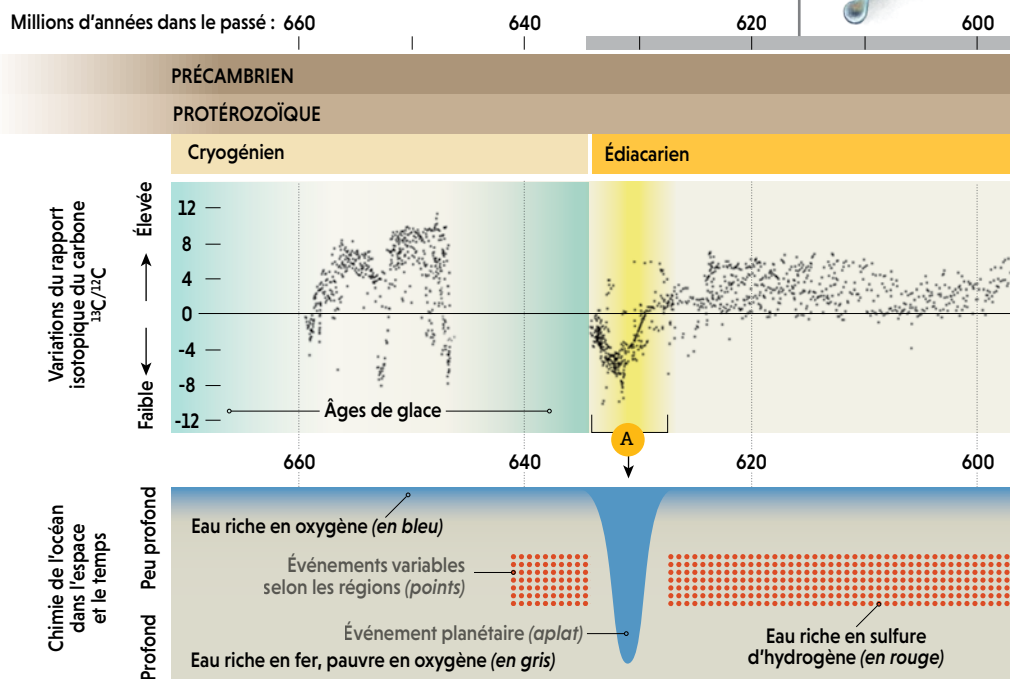
AVANT L'EXPLOSION CAMBRIENNE

De nombreuses innovations clés de l'évolution animale, que l'on pensait remonter au Cambrien, ont en réalité trouvé leur origine bien plus tôt, au cours de l'Édiacarien. Par exemple, les premiers animaux à squelette sont apparus à cette époque. Au fil de l'évolution, leur capacité à produire du tissu minéralisé est probablement devenue un moyen de protection contre les prédateurs. L'analyse des registres fossiles et géochimiques d'il y a entre 670 millions et 480 millions d'années livre des indices sur les facteurs environnementaux qui ont modelé cette ancienne activité évolutive.



PREUVES GÉOCHIMIQUES

Les animaux ont besoin d'oxygène pour survivre. La diversification survenue au cours de l'Édiacarien a eu lieu alors que la concentration en oxygène dans les océans de la planète fluctuait beaucoup. L'étude des isotopes du carbone dans les roches de l'Édiacarien montre que le cycle de cet élément était instable et fluctuait beaucoup. Des analyses des diverses formes du fer présentes dans ces roches révèlent quant à elles que l'oxygène dissous dans les océans a probablement atteint un seuil ou une série de seuils au cours de l'Édiacarien, ce qui a permis aux animaux de se diversifier en comblant leurs besoins métaboliques, qui croissaient à mesure qu'ils devenaient plus actifs. Les chercheurs pensent désormais que les mers se sont oxygénées via non pas une augmentation lente et progressive, mais plutôt une série d'événements (A, B, C et D) qui semblent coïncider avec les variations des isotopes du carbone. Cette tendance s'est poursuivie durant l'Édiacarien et probablement bien au-delà.



> sa grande taille – jusqu'à un mètre de diamètre – et son squelette robuste. D'après sa forme, nous pensons que *Namapoikia* était une éponge et arborait ainsi un squelette interne et non externe, comme c'était probablement le cas de *Cloudina* et *Namacalathus*. Curieusement, *Namapoikia* se développait dans les recoins cachés des récifs, s'incrétant dans les parois verticales des fissures et des crevasses ouvertes. Dans les récifs actuels, les communautés d'animaux et de plantes vivant à la surface de ces édifices diffèrent de celles qui occupent les grottes, les crevasses et le dessous des falaises. Nos découvertes de fossiles édiacariens indiquent que cette distinction est aussi ancienne que les récifs d'origine animale eux-mêmes.

Ces observations sont importantes, car la construction de récifs représente une innovation écologique essentielle. En se développant à proximité, voire en se soudant ensemble, les individus deviennent mécaniquement plus forts, s'élèvent au-dessus du fond marin à l'écart des

concurrents, augmentent l'efficacité de leur prise de nourriture et acquièrent une protection contre les prédateurs. Ainsi, comme l'apparition des tout premiers squelettes dans les registres fossiles de l'Édiacarien, celle de récifs pourrait indiquer que des pressions écologiques complexes grandissantes étaient déjà à l'œuvre. L'explosion cambrienne, ainsi qu'une course aux armements entre proies et prédateurs, avait donc peut-être déjà commencé.

LE RÔLE CLÉ DE L'OXYGÈNE

Au milieu des années 2010, il est devenu clair que le Cambrien ne se démarquait pas aussi clairement de l'Édiacarien que les experts l'avaient longtemps envisagé. Non seulement des chercheurs avaient commencé à accumuler des preuves indiquant que les squelettes et les récifs étaient apparus plus tôt qu'on ne le pensait, mais nous avons aussi développé des modèles d'écosystèmes montrant que les communautés animales de l'Édiacarien partageaient de nombreux