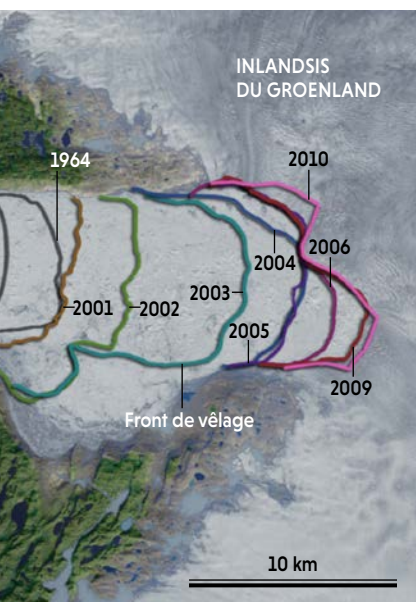




les bassins de Wilkes et d'Aurora, sont des cas différents. Le retrait de seulement l'un d'eux jusqu'à la proéminence précédant celle où ils sont installés aurait un effet mondial. Les modèles indiquent le glacier de Thwaites comme le chemin le plus probable vers la tranchée de Bentley et les bassins qui lui sont adjacents. Si, comme le Jakobshavn l'a fait, il commençait à se retirer vers l'intérieur de sa vallée, sa fonte pourrait, avant qu'il ne se soit réstabilisé au-dessus d'une zone élevée, faire monter le niveau de la mer de 3,3 mètres. Les bassins glaciaires de l'Antarctique oriental pourraient à eux seuls élever le niveau de la mer plus que le glacier de Thwaites, mais un réchauffement plus fort est nécessaire pour que s'amorce leur retrait des hauts-fonds marins qui les stabilisent actuellement.

Notons qu'il n'y a rien d'étrange à cela. Un réchauffement provoque le retrait de la glace, normalement jusqu'à la première proéminence en retrait. Ce phénomène a été observé à maintes reprises dans le passé et dans le présent. Si le glacier de Thwaites se réchauffe assez pour commencer à se comporter comme les glaciers du Groenland et de l'Alaska, alors il reculera.

UN SORT ENCORE INCERTAIN

À quelle vitesse le glacier de Thwaites pourrait-il évoluer? Quel réchauffement climatique pouvons-nous nous permettre sans qu'il ne commence à se retirer? Mes collègues David Pollard, de l'université d'État de Pennsylvanie, et Robert DeConto, de l'université du Massachusetts, ont élaboré un modèle physique d'écoulement de la glace, que l'on peut faire tourner sur de gros calculateurs afin d'obtenir des prédictions sur les évolutions à long terme des grandes calottes. Je les ai un peu aidés quant à la physique de l'effondrement des grandes falaises de glace, notamment dans les cas où de l'eau de fonte ouvre des crevasses.

David Pollard et Robert DeConto ont optimisé leur modèle afin qu'il décrive correctement les données géologiques du passé et afin d'évaluer les impacts de diverses intensités de réchauffement d'origine humaine. Ils ont déterminé que, même avec un réchauffement rapide, nous avons probablement quelques décennies avant que le glacier de Thwaites ne commence à s'effondrer à la suite de la perte de sa plateforme glaciaire et de l'élargissement de ses crevasses par la circulation de l'eau de fonte de surface. Il faudrait environ un siècle pour que le glacier de Thwaites s'effondre complètement.

David Pollard et Robert DeConto ne sachant pas à quelle vitesse la glace pouvait se briser, ils ont adopté un chiffre égal à celui du Jakobshavn. En fait, le glacier de Thwaites étant plus épais, il formera des falaises bien plus hautes que le Jakobshavn; or plus une falaise est haute, plus elle a tendance à se

disloquer. Il se pourrait donc que nous sous-estimions le pire des scénarios.

Le modèle fonctionne bien, mais David Pollard et Robert DeConto ou d'autres vont certainement l'améliorer encore. Il reste à espérer que le glacier de Thwaites pourra se stabiliser sur une proéminence située en arrière de son front actuel sur la pente descendante de la tranchée, plutôt que de reculer davantage. Ou encore, que les icebergs formés s'accumuleront pendant un certain temps derrière la crête actuelle où la glace commence maintenant à flotter. Cela pourrait conduire à la formation d'une banquise qui limiterait la perte de glace.

Pour répondre à ces questions et à d'autres, la National Science Foundation des États-Unis et le Natural Environment Research Council du Royaume-Uni ont lancé, en association avec des collaborateurs internationaux, un effort majeur pour en apprendre encore plus sur l'histoire du glacier de Thwaites, sur la façon dont il s'écoule et sur le fond marin sur lequel il progresse. Cela devrait nous aider à mieux prévoir son avenir.

Les données produites réduiront nos incertitudes, mais il restera difficile de répondre à certaines questions. Pensez à toutes les tasses à café en céramique que vous avez vues tomber sur un sol dur. Certaines rebondissent, d'autres se fendent et d'autres encore se brisent en mille morceaux. Les processus physiques à l'origine de ces divers types de fracturation sont bien connus et faciles à décrire, et le comportement moyen d'une fracture est prévisible. Cependant, jamais vous ne parieriez quelque chose d'important pour vous sur le sort de la prochaine tasse qui tombera...

L'avenir du glacier de Thwaites dépend beaucoup de la façon dont il se fracturera. Sa plateforme glaciaire va-t-elle se séparer de la glace qui l'alimente aujourd'hui, ce qui lui ferait dépasser la protubérance qui le stabilise actuellement et le ferait reculer dans de profonds bassins? D'énormes icebergs seront-ils débités si la perte de la plateforme de glace produit un front de vêlage plus haut que n'importe quelle falaise actuelle, entraînant un recul plus rapide que tout ce que nous avons jamais vu? L'eau de fonte est importante, mais quelle quantité d'eau s'écoulera dans les rivières jusqu'à la mer, et quelle quantité s'infiltrera dans la neige et regèlera? À quelle vitesse l'air se réchauffera-t-il? En comparaison, prédire le sort d'une tasse n'est pas difficile!

Si l'humanité parvient à se mobiliser assez, le ralentissement, voire l'arrêt, du réchauffement climatique dû aux émissions de gaz à effet de serre freinera la hausse du niveau de la mer et réduira le coût croissant des submersions côtières. Si toutefois le glacier de Thwaites devait commencer à se retirer rapidement, alors il sera urgent d'agir et de limiter les dégâts associés. ■

BIBLIOGRAPHIE

P. Milillo et al., **Heterogeneous retreat and ice melt of Thwaites Glacier, West Antarctica**, *Science Advances*, vol. 5, eaau3433, 2019.

T. A. Scambos et al., **How much, how fast? : A science review and outlook for research on the instability of Antarctica's Thwaites glacier in the 21st century**, *Global and Planetary Change*, vol. 153, pp. 16-34, 2017.

R. DeConto et D. Pollard, **Contribution of Antarctica to past and future sea-level rise**, *Nature*, vol. 531, pp. 591-597, 2016.

R. Alley et al., **Oceanic forcing of ice-sheet retreat : West Antarctica and more**, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, vol. 43, pp. 207-231, 2015.

L'ESSENTIEL

> Les chercheurs ont longtemps pensé que les animaux complexes étaient apparus au cours de l'explosion du vivant survenue au Cambrien, il y a environ 540 millions d'années.

> Mais de plus en plus de fossiles suggèrent qu'en réalité, ils ont émergé des millions d'années auparavant, durant l'Édiacarien.

> De nouvelles techniques pour reconstituer la chimie des anciens océans ont livré des indices sur les pressions environnementales qui ont façonné cette diversification primitive.

L'AUTEURE



RACHEL A. WOOD
paléontologue et géologue
à l'université d'Édimbourg,
en Écosse

L'essor des premiers animaux

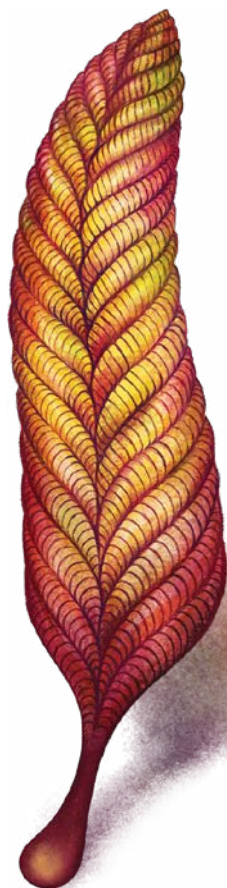
La découverte de nouveaux fossiles d'animaux complexes et l'analyse de la chimie des anciens océans révèlent les racines étonnamment lointaines de l'explosion cambrienne.

Grimpez en haut des falaises blanches et escarpées qui surplombent les grandes rivières de Sibérie. Au sommet, vos pieds fouleront les vestiges d'un tournant de l'histoire de la vie sur Terre: la limite géologique, vieille de 541 millions d'années, entre les périodes précambrienne et cambrienne. Les roches situées en dessous de cette ligne contiennent peu de restes fossiles: des empreintes fantomatiques d'organismes à corps mou et quelques formes de coquilles. Mais cassez n'importe quelle roche juste au-dessus de la limite, elle regorgera de coquilles. Un peu plus haut encore, des organismes fossilisés familiers, comme les trilobites, apparaissent. Ces changements documentent ce que l'on nomme l'explosion cambrienne, l'un des

événements les plus importants de l'évolution, mais qui reste encore mal compris.

Des décennies durant, les chercheurs ont pensé que l'origine des animaux complexes – des organismes multicellulaires aux tissus différenciés – remontait à l'explosion cambrienne. De fait, une profusion de formes nouvelles ont vu le jour à cette période, dont les ancêtres de beaucoup des groupes majeurs d'animaux actuels. Cependant, de récentes découvertes en Sibérie, en Namibie et ailleurs montrent que les animaux complexes sont en réalité apparus des millions d'années avant l'explosion cambrienne, au cours du dernier chapitre du Précambrien, une période appelée l'Édiacarien. Parmi ces découvertes, on compte les plus anciens organismes connus dotés de squelettes interne et externe composés de tissu >

Les plus anciens animaux complexes connus, vieux de plus de 550 millions d'années, avaient des formes variées et mesuraient quelques centimètres, voire plus.



➤ minéralisé, une innovation clé de l'évolution visible chez beaucoup des animaux actuels.

La présence de ces organismes équipés de leur « armure » si loin dans le passé – il y a 550 millions d'années – indique que les pressions écologiques et environnementales supposées avoir présidé à l'explosion cambrienne étaient déjà à l'œuvre bien avant. Découvrir comment ces facteurs ont modelé l'évolution des premiers animaux complexes durant l'Édiacarien est crucial pour comprendre l'incroyable explosion de diversification de la vie qui a suivi au cours du Cambrien.

Les registres fossiles du Cambrien ont fait l'objet de recherches intenses pendant plus de 150 ans. Les modèles généraux décrivant quand et où sont apparus les fossiles du Cambrien sont donc relativement bien établis : des fossiles similaires ont fait leur apparition sur de nombreux continents à peu près au même moment, et ils ont subi la même succession de changements évolutifs de façon plus ou moins synchrone. Mais ce n'est que récemment, à la lumière des découvertes des fossiles plus anciens de l'Édiacarien, que l'on commence à distinguer les racines de l'explosion cambrienne. Grâce, en partie, au développement de nouvelles techniques géochimiques qui ont révolutionné notre compréhension de la chimie changeante des océans de l'époque, on perçoit aussi pourquoi elle a eu lieu à ce moment.

Ce n'est que tout récemment que l'on a pu intégrer les informations issues des registres géochimique et fossile pour montrer comment la biosphère, la géosphère, l'hydrosphère et l'atmosphère, qui ensemble constituent le système Terre, ont fonctionné durant cette période. Mais l'on peut d'ores et déjà esquisser une image saisissante de la manière dont, des dizaines de millions d'années avant l'explosion cambrienne, le fond marin s'est peu à peu peuplé d'organismes toujours plus complexes, devenant le terreau de la vie animale telle que nous la connaissons.

LES PREMIERS ANIMAUX

La plus ancienne preuve de l'existence d'animaux ne vient pas de fossiles identifiables, mais de restes de composés organiques appelés biomarqueurs. Il y a une dizaine d'années, des géologues ont découvert l'un de ces biomarqueurs, une forme particulière de stérane, dans des roches très bien préservées d'une série sédimentaire connue sous le nom de Supergroupe de Huqf, à Oman, vieille d'au moins 650 millions d'années. Certains experts ont avancé que ces stéranes étaient propres à un groupe particulier d'éponges et que la présence de ces molécules dans les roches de Huqf documentait ainsi l'existence de ces animaux déjà à cette époque. Cependant, tous les chercheurs n'acceptent pas leur postulat. En effet, une étude publiée en

avril suggère que les stéranes seraient caractéristiques d'un groupe d'amibes unicellulaires.

Les plus vieilles traces susceptibles d'être des fossiles d'animaux, qui proviennent d'une couche géologique de roches du sud de la Chine nommée la Formation de Lantian et remonteraient à 635 millions d'années, sont contestées de la même manière. Certains pensent que ces minuscules formes à corps mou ont un lien de parenté avec les coraux ou les méduses, car ils présentent des structures en forme de tentacules ; mais la conservation de ces fossiles n'est pas suffisamment bonne pour en permettre une interprétation non équivoque, ce qui laisse de nombreux chercheurs dubitatifs sur le fait qu'ils correspondent à des animaux.

Les restes d'animaux les plus anciens sur lesquels presque tout le monde s'accorde sont les fossiles de Terre-Neuve, âgés d'environ 571 millions d'années. Ces animaux vivaient donc peu après la dernière glaciation de type « Terre boule de neige », qui a recouvert une bonne partie de la planète sous une couche épaisse de glace. Des organismes à corps mou mesurant jusqu'à un mètre de hauteur ou de largeur dominaient cette faune édiacarienne. Certains avaient la forme de grandes feuilles semblables à des plumes, avec des tiges verticales qui les ancrèrent au fond marin. D'autres s'étendaient sur le sol océanique, leur corps plat montrant une architecture fractale, avec des ramifications qui présentaient les mêmes

Des organismes à corps mou mesurant jusqu'à un mètre de hauteur dominaient cette faune

motifs à toutes les échelles. Tous ces plans d'organisation maximisent la surface, ce qui suggère que ces animaux absorbaient des nutriments issus de l'eau environnante.

Cette faible diversité de la faune a prévalu pendant plus de dix millions d'années. Mais ensuite, le cours de l'évolution animale s'est accéléré. Le registre fossile indique qu'il y a environ 560 millions d'années, le biote édiacarien a commencé à se diversifier et à inclure des formes mobiles qui peuplaient les mers peu profondes. Certains fossiles conservent des