

vingtaine d'hypothèses pour expliquer cette tendance, fondées sur divers éléments empiriques. En 2010, avec Jim Barry, de l'Institut de recherche de l'Aquarium de Monterey Bay, j'ai publié une étude qui pourrait résoudre l'énigme. Dans les canyons sous-marins – des vallées étroites qui entaillent le plateau continental de quelques centaines de mètres à plus de 2000 mètres –, la nourriture peut s'accumuler à la base des parois abruptes. Nous avons découvert qu'une mégafaune très mobile – par exemple les oursins, concombres de mer, crabes et étoiles de mer – converge vite dans ces zones et monopolise la nourriture. Comme ces animaux sont nombreux, leur activité remue intensément les sédiments. Cette perturbation et le manque de nourriture créent des conditions très rudes pour la macrofaune de ce milieu. Les espèces de la macrofaune sont donc moins nombreuses à survivre dans ces conditions. Les vers qui construisent des terriers dans les sédiments, notamment, ont peu de chance de survivre, car leurs terriers seraient vite détruits. Ainsi, à ces profondeurs intermédiaires où la dis-

ponibilité en carbone est élevée, la mégafaune, plus abondante, pourrait réduire la diversité de la macrofaune.

De façon générale, explique Nadine Le Bris, directrice du Laboratoire d'écogéochimie des environnements benthiques (CNRS-UPMC) de l'Observatoire océanologique de Banyuls-sur-Mer, on constate que le nombre d'espèces est plus limité dans les écosystèmes abyssaux liés à des sources locales d'énergie – sources hydrothermales, sources de méthane, canyons, bois et os coulés. Mais à l'instar des crustacés abyssaux géants, la taille souvent exceptionnelle de ces organismes reflète une adaptation particulièrement efficace aux formes d'énergie disponibles.

Regards vers le passé

La façon dont l'océan réagit aujourd'hui au gradient de nourriture sur les fonds marins nous renseigne aussi sur le développement de la faune marine tout au long de l'histoire de la vie sur Terre, plus précisément sur les conditions environnementales (quantité de nourriture disponible,

c'est-à-dire de carbone) qui ont pu permettre ce développement.

Il y a environ 200 à 100 millions d'années, la révolution marine du Mésozoïque a constitué l'une des plus spectaculaires réorganisations de la vie sur notre planète. À cause d'une forte augmentation de la prédation dans les océans, certaines espèces ont décliné, tandis que d'autres, mieux adaptées (par exemple des gastéropodes possédant une coquille particulièrement solide), se sont diversifiées. En 1995, Richard Bambach, de l'Institut polytechnique et de l'Université d'État de Virginie, aux États-Unis, a suggéré que les besoins alimentaires des animaux marins s'étaient accrus durant cette période : plusieurs études montraient une augmentation de la prédation, de la mobilité, du fouissage, des morphologies anti-prédateurs, de l'incrustation d'organismes dans des roches immergées, de l'érosion due à des organismes sous-marins et de la taille de la faune. Selon R. Bambach, cette augmentation de l'activité dans les océans n'a pu avoir lieu que grâce à un apport suffisant en énergie. Donc, conclut-il, l'océan a forcément augmenté sa productivité en

DES ABYSES À LA BIODIVERSITÉ DES TROPIQUES

L'étude des grandes profondeurs peut éclairer notre compréhension d'autres types d'habitats. La biodiversité est importante sous les tropiques et décroît vers les pôles. Ce gradient de diversité des espèces en fonction de la latitude est observé chez une grande variété d'organismes dans des écosystèmes marins, terrestres et d'eau douce. Toutefois, les explications de ce gradient sont aussi variées que les organismes qui le suivent. Les différentes théories mettent en avant la variabilité du climat, la rudesse des conditions climatiques, la température, les rythmes de spéciation et d'extinction, le parasitisme, la prédation, la compétition entre espèces et la disponibilité en nourriture.

En 1993, Michael Rex, de l'Université du Massachusetts à Boston, a étudié, pour la première fois, le gradient de diversité des espèces en fonction de la latitude en mer profonde. M. Rex et ses collègues ont découvert un accroissement de la diversité des mollusques et des crustacés

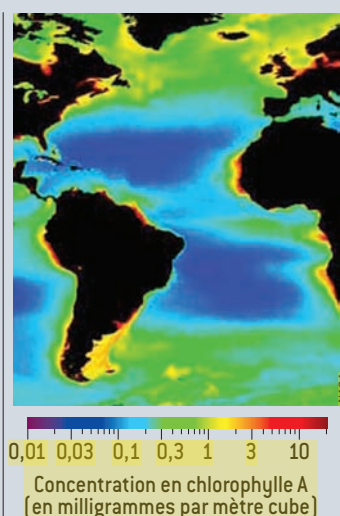
de l'océan Atlantique près de l'équateur et une réduction de celle-ci près des pôles. Des travaux ultérieurs ont montré que les foraminifères suivent également ce schéma. Ces résultats indiquent que les gradients de diversité des espèces en fonction de la latitude ne sont probablement pas liés à la température. En effet, les couches profondes de l'océan varient peu en température – seulement de 4°C – et peuvent être uniformes sur de vastes zones.

Or un autre élément varie bien avec la latitude : la quantité et la production de plancton à la surface de l'océan. De fait, deux séries de travaux ont montré que la dynamique de la disponibilité en nourriture peut entraîner des changements de la biodiversité des profondeurs sur des échelles de temps tant géologiques qu'annuelles.

Dans la première série d'études, Moriaki Yasuhara, de l'Institut *Smithsonian*, et ses collègues ont étudié l'histoire de crustacés minuscules, les ostracodes, sur les 500 000 der-

nières années dans les eaux profondes tropicales, à l'aide d'échantillons provenant de l'*Ocean Drilling Program*, un programme scientifique international d'exploration et d'étude des fonds marins. Ce dernier demi-million d'années a vu quatre cycles climatiques (succession de périodes glaciaires et de périodes interglaciaires) qui ont modifié radicalement la température en surface, les courants et la production de plancton des océans. La diversité des ostracodes dans l'océan tropical profond a chuté durant les périodes glaciaires, avec un abaissement concomitant de la production de plancton en surface. En conséquence, au cours de ces périodes, le gradient de diversité des ostracodes en fonction de la latitude a disparu. À l'inverse, durant les périodes interglaciaires, la diversité des ostracodes est devenue particulièrement riche.

La seconde série d'études concerne des échelles de temps beaucoup plus courtes – de l'ordre de la décennie. Les cycles de El Niño et de



La température de l'océan varie peu avec la latitude, contrairement à la production de phytoplancton, évaluée par la concentration de chlorophylle mesurée en surface, et donc de carbone organique. Cette variabilité de production de nourriture à la surface des océans pourrait être l'un des facteurs de la biodiversité accrue observée sous les tropiques, tant en surface qu'en profondeur.

carbone organique durant cette période, sinon il n'aurait pu fournir l'énergie nécessaire à toutes ces innovations.

Dans un article récent, Seth Finnegan, de l'Université Stanford et de l'Institut de technologie de Californie, et ses collègues, dont je suis, avons tenté d'expliquer cette révolution marine du Mésozoïque sous un autre angle. Nous avons étudié, au cours du temps, les besoins énergétiques ou les demandes en nourriture probables d'un groupe prédominant dans les témoignages fossiles : les gastéropodes. Pour ce faire, nous avons combiné les informations issues des traces fossiles marines, des océans actuels – peu profonds comme profonds –, des données physiologiques provenant des espèces vivantes et, enfin, des équations mathématiques estimant la consommation d'énergie nécessaire à la vie d'un animal, c'est-à-dire l'énergie dont il a besoin pour son métabolisme.

Pour chiffrer les besoins de populations de gastéropodes dans un passé lointain, nous avons fait des extrapolations à partir de nos connaissances sur les gastéropodes actuels. En comparant les gastéropo-

des vivant avant et après la révolution marine du Mésozoïque, nous avons découvert que le besoin en énergie par individu s'était élevé d'environ 150 pour cent – un changement attribué en grande partie à l'augmentation de la taille des individus. Et si l'on ajoute à cette demande énergétique ne serait-ce que celle des carnivores marins, plus coûteux en énergie et dont la présence s'est accrue au Mésozoïque, on constate que le besoin en énergie après la révolution marine du Mésozoïque a dû être bien plus élevé.

Nous avons montré en outre que cette augmentation de la demande énergétique s'est produite des profondeurs océaniques jusqu'aux eaux côtières. Par conséquent, pour permettre cette augmentation, la productivité de l'océan a forcément dû s'accroître considérablement il y a 200 à 100 millions d'années.

Un avenir incertain

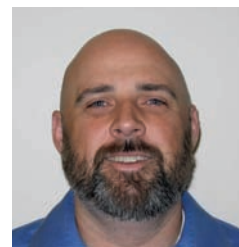
Aujourd'hui, la Terre entre dans une nouvelle période de turbulences. Alors que les émissions de gaz à effet de serre modifient le climat de notre planète, de plus en plus de preuves indiquent que nous avons déjà modifié la production et les flux du carbone dans les océans. Des travaux récents montrent des réductions de 50 pour cent de la production de phytoplancton dans certaines régions océaniques et des augmentations de 50 pour cent dans d'autres. Daniel Boyce, de l'Université Dalhousie, aux États-Unis, et ses collègues ont récemment rapporté que la production de phytoplancton a globalement décliné au cours du siècle dernier. Cette redistribution et la diminution de la quantité de carbone à la surface de l'océan pourraient modifier la nature des fonds marins de façon importante ces prochaines décennies, aux côtés de la surpêche, de la pollution, de l'exploitation minière, du réchauffement et de l'acidification.

Les organismes des profondeurs vivent dans des conditions environnementales extrêmes de température, de pression et, bien sûr, d'alimentation. À l'échelle des individus comme à celle des écosystèmes, des transformations écologiques et évolutives extraordinaires ont permis une adaptation à ces conditions extrêmes. Alors que l'activité humaine modifie toujours plus les fonds marins, les espèces qui les peuplent vont-elles s'adapter ou disparaître ? La question est ouverte. ■

La Niña, qui changent les températures de surface de l'océan Pacifique tropical, peuvent aussi modifier la répartition de la production planctonique en surface. Auraient-ils par là-même une influence sur la diversité de la faune ? Pour le savoir, un site appelé station M – situé à 4000 mètres de profondeur, au large de Santa Barbara, en Californie – a été surveillé pendant presque deux décennies. Des travaux effectués à la station M par Henry Ruhl et Ken Smith, de l'Institution Scripps d'océanographie et de l'Institut de recherche de l'Aquarium de Monterey Bay, aux États-Unis, montrent que lorsque des oscillations, dues à El Niño et à La Niña, apparaissent dans les températures de surface du Pacifique, la quantité de plancton varie de façon concordante. Et la diversité et l'abondance de la mégafaune et de la macrofaune des profondeurs changent également.

Ces deux séries d'études exceptionnelles confortent l'idée que les gradients de diversité des espèces en fonction de la latitude sont en partie dues à la variabilité de production du plancton en surface. Elles ont aussi mis au jour une répartition de la biodiversité dans les profondeurs en fonction du temps qui établit un lien encore plus fort entre la production en surface et la vie en eaux profondes.

L'AUTEUR



Craig McCLAIN est directeur scientifique adjoint du Centre national de synthèse sur l'évolution de Durham, en Caroline du Nord aux États-Unis, et rédacteur en chef du blog scientifique *Deep-Sea News*, deepseanews.com.

Article publié avec l'aimable autorisation de *American Scientist*.

✓ BIBLIOGRAPHIE

S. Finnegan *et al.*, Escargot through time : an energetic comparison of marine gastropod assemblages before and after the Mesozoic Marine Revolution, *Paleobiology*, vol. 37, pp. 252-269, 2011.

C. McClain et J. Barry, Habitat heterogeneity, biogenic disturbance, and resource availability work in concert to regulate biodiversity in deep submarine canyons, *Ecology*, vol. 91, pp. 964-976, 2010.

C. McClain *et al.*, The island rule and the evolution of body size in the deep sea, *Journal of Biogeography*, vol. 33, pp. 1578-1584, 2006.

H. A. Ruhl et K. L. Smith, Shifts in deep-sea community structure linked to climate and food supply, *Science*, vol. 305, pp. 513-515, 2004.

P. Geistdoerfer, La vie dans les abysses, Belin, 1995.