

coralliens et les forêts tropicales humides, la biodiversité importante observée traduit la grande variété des environnements et des ressources disponibles en ces lieux. Cette variété soutient de multiples niches écologiques, sources d'une population riche et complexe. Par contraste, le fond de la mer, plat et boueux, sans récifs ou forêts pour apporter de la complexité, apparaît plus homogène. Comment cet habitat et son unique source de nourriture conduisent-ils à une telle biodiversité ?

Une réponse a été proposée en 1973 par H. Sanders et son collègue Fred Grassle : les deux biologistes ont suggéré que le fond marin était composé d'un patchwork de microhabitats de quelques centimètres carrés. Dans leur hypothèse, chaque élément de cette mosaïque fournit un ensemble spécifique de caractéristiques environnementales – les microhabitats – qui permet la vie d'un ensemble particulier d'espèces macrofauniques. Depuis, les caractéristiques de ces microhabitats sont devenues plus claires, tout comme les raisons pour lesquelles ils sont plus courants dans les profondeurs. Certains organismes assez grands, tels les oursins, les étoiles et concombres de mer, les vers et les crabes, construisent des terriers, tunnels et monticules dans les grands fonds marins et se déplacent à travers les sédiments. Ils créent ainsi une topographie à petite échelle qui structure le sol en microhabitats. Les grands fonds étant bien moins

souvent balayés par des courants rapides et constants que les eaux peu profondes, ces microhabitats y persistent plus longtemps et se développent.

Sur cette structure inégale, la neige marine ne se dépose pas uniformément : la microtopographie du fond marin la retient vraisemblablement dans les dépressions, tout comme la surface irrégulière d'une pelouse est recouverte d'un manteau neigeux inégal. La neige marine peut aussi s'agréger avant son arrivée sur le fond de la mer. Les Larvacés, un type de plancton, sécrètent autour d'eux une enveloppe de mucus qui filtre l'eau, retenant les particules. Ces enveloppes s'obstruent facilement et les Larvacés s'en dépouillent toutes les quatre heures. Les enveloppes obstruées

teau continental, à petite profondeur, la diversité des gastéropodes est faible. Lorsque la profondeur augmente (entre 200 et 2 000 mètres) et que l'apport en carbone diminue, leur diversité s'accroît sur les fonds marins. Puis, à des profondeurs d'environ deux à trois kilomètres, la diversité décline rapidement.

L'explication la plus vraisemblable de la décroissance conjointe de la productivité de carbone organique et de la diversité dans les abysses est l'effet Allee (du nom de son auteur, l'écologue américain Warder Allee) : moins la nourriture est disponible et moins d'individus de toutes les espèces sont entretenus. Quand le nombre d'individus d'une population décroît fortement, l'espèce concernée est plus susceptible de s'éteindre

LA BIODIVERSITÉ DES GRANDS FONDS MARINS dépasse la biodiversité côtière dans la zone tempérée et s'approche de la biodiversité des eaux tropicales peu profondes.

constituent alors une source de nourriture riche en carbone, qui arrive sur le fond marin groupée en masses compactes.

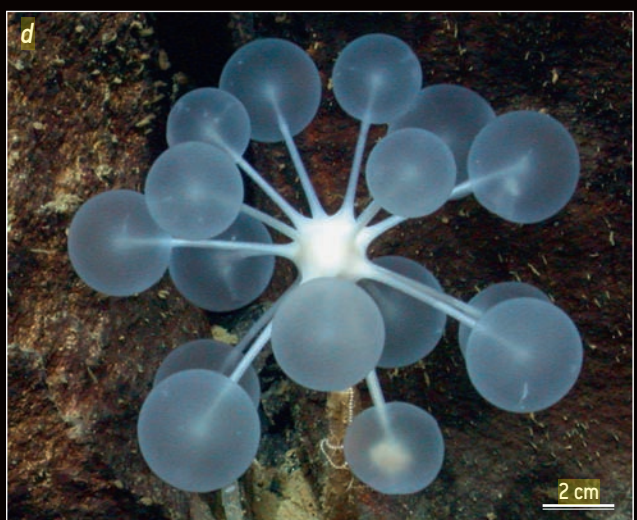
Ce schéma de la disponibilité en nourriture gouverne la biodiversité non seulement à petite échelle, mais aussi à des échelles plus grandes. En 1973, M. Rex a publié la première étude montrant la complexité de la répartition de la biodiversité en fonction de la profondeur. Sur le pla-

localement en raison de perturbations environnementales aléatoires, ce qui réduit la diversité totale d'une région.

Cependant, il reste une énigme : pourquoi, au tout début des grandes profondeurs – sur les fonds marins situés aux alentours de 200 mètres de profondeur –, une grande disponibilité en nourriture soutiendrait-elle moins d'espèces qu'à 1 000 ou 2 000 mètres ? On a avancé une



des copépodes, petits crustacés dont se nourrissent nombre de petits poissons (b). La femelle du gastéropode *Neptunia amianta* dépose des milliers d'œufs dans des « casiers ». Ils serviront de source de nourriture aux



premiers petits éclos (c). *Chondrocladia lampadiglobus*, ou éponge lampa-diaire, est carnivore (d). Alors qu'en général, les éponges filtrent l'eau pour se nourrir, celle-ci piège ses proies grâce à de minuscules crochets externes.

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

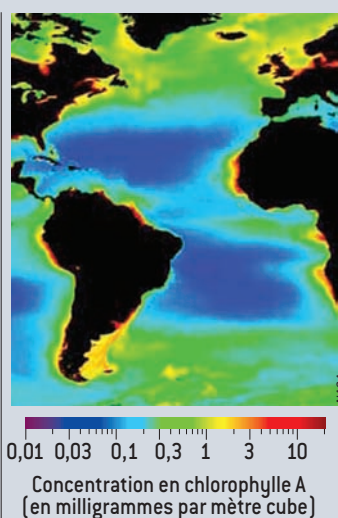
de l'océan Atlantique près de l'équateur et une réduction de celle-ci près des pôles. Des travaux ultérieurs ont montré que les foraminifères suivent également ce schéma. Ces résultats indiquent que les gradients de diversité des espèces en fonction de la latitude ne sont probablement pas liés à la température. 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.