

petits crustacés) survivent dans les zones mortes grâce à un métabolisme ralenti.

Les mammifères marins qui plongent en profondeur, comme les éléphants de mer, chassent préférentiellement dans les zones hypoxiques. C'est aussi le cas du vampire des abysses *Vampyroteuthis infernalis* (un poulpe), qui descend de 600 à 900 mètres de profondeur. Il y survit grâce à la grande surface de ses branchies et à l'hémocyanine, une hémoglobine bleue qui se lie efficacement à l'oxygène à des concentrations faibles. À long terme, tous ces animaux ont néanmoins besoin d'oxygène pour survivre.

LES AVATARS DE L'AZOTE

Pour de nombreux microorganismes, cette règle ne s'applique pas : quand l'oxygène s'amenuise, ils passent simplement à la respiration anaérobie. Certains couvrent leurs besoins en énergie et en CO_2 en oxydant des composés organiques, comme du sucre ou des acides aminés. Ce faisant, ils réduisent le nitrate (NO_3^-) en nitrite (NO_2^-), puis en protoxyde d'azote (N_2O) et enfin en azote moléculaire (N_2). D'autres utilisent des ions fer, manganèse ou sulfates (SO_4^{2-}) à la place de l'oxygène. Certains habitants unicellulaires des zones hypoxiques sont en mesure de fixer le CO_2 perdu dans l'eau, comme les algues avec la photosynthèse. Au lieu d'utiliser les rayons du soleil, ils utilisent de l'énergie de liaison chimique, stockée dans les composés anorganiques réduits, comme l'ammonium (NH_4^+) et le sulfure d'hydrogène (H_2S). Leur oxydation libère de l'énergie qui permet aux organismes de synthétiser du sucre et d'autres molécules nécessaires à leur croissance à partir du CO_2 .

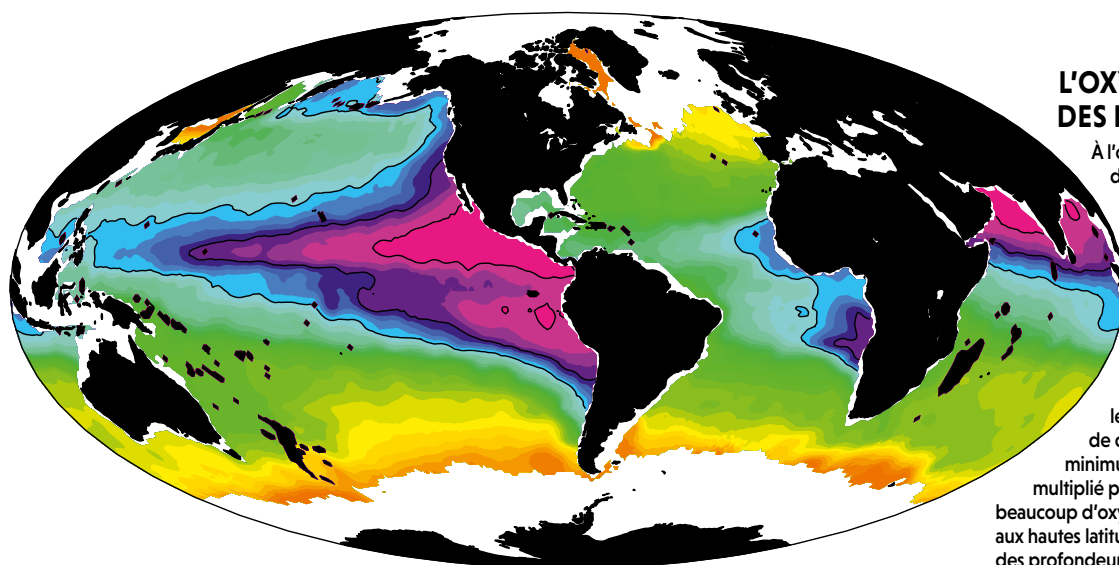
Les processus microbiens dans les OMZ jouent un rôle central dans le cycle de certains

éléments indispensables à la vie, comme l'azote. Dans l'air, qu'il compose à 78%, il se présente principalement sous la forme de molécule N_2 inutilisable pour la plupart des êtres vivants. Seuls quelques unicellulaires peuvent rompre la liaison et transformer l'azote de l'air en ammoniac pour, par exemple, synthétiser des acides aminés.

Les animaux et les plantes absorbent l'azote biologiquement disponible. Lorsqu'ils meurent, les microorganismes recyclent leur biomasse et relâchent de nouveau l'azote, principalement sous forme d'ammonium et de nitrate. Deux groupes de bactéries, abondants dans les zones hypoxiques, retransforment les nitrates et l'ammonium en N_2 . Il s'agit, pour les unes, des bactéries dénitrifiantes, qui oxydent le carbone organique à l'aide des nitrates, et pour les autres, des bactéries anammox (abréviation de «anaerobic ammonium oxidation», soit oxydation anaérobie de l'ammonium) découvertes à la fin des années 1990. Ces dernières utilisent l'ammonium et les nitrates pour récupérer de l'énergie nécessaire à la fixation du CO_2 .

La grande disponibilité en nutriments et la pauvreté en oxygène créent des conditions optimales pour ces processus : 20 à 40% de la ➤

LE VAMPIRE DES ABYSSES SURVIT DANS LES ZONES PAUVRES EN OXYGÈNE GRÂCE À L'HÉMOCYANINE, UNE HÉMOGLOBINE BLEUE



L'OXYGÈNE DES PROFONDEURS

À l'ouest de l'Atlantique et du Pacifique, au niveau des tropiques, comme dans le nord de l'Océan indien, à 400 mètres de profondeur, s'étendent d'immenses zones pauvres en oxygène (en rose). Au cours des cinquante dernières années, le volume mondial de ces zones dites de minimum d'oxygène a été multiplié par quatre. On trouve beaucoup d'oxygène (en orange) aux hautes latitudes. C'est là que l'eau des profondeurs océaniques prend sa source.

consommation en azote disponible dans l'océan se produiraient dans les zones anoxiques, bien qu'elles représentent moins de 1% du volume total. Les zones mortes régulent ainsi sur le long terme la productivité maritime. En effet, l'eau retourne à un moment ou un autre en surface et, souvent, la quantité d'azote biologiquement disponible qu'elle contient contraint la croissance des algues.

LA NEIGE CARBONIQUE

Les eaux remontantes sont aussi importantes dans le cycle global du carbone, car en surface, de grandes quantités de CO_2 sont fixées par la photosynthèse puis envoyées dans les profondeurs sous forme de neige marine. En moyenne, à peine 1% du CO_2 atteint le fond marin. Le reste est de nouveau relâché sous forme de CO_2 libre par des microorganismes tandis qu'il traverse des centaines voire des milliers de mètres de la colonne d'eau. En l'absence d'oxygène, le processus est plus lent, si

bien que dans les zones hypoxiques ou anoxiques, davantage de dioxyde de carbone organique fixé atteint le fond et sort du cycle que dans d'autres zones marines.

Les émissions de gaz à effet de serre, de CO_2 en particulier, mais aussi de méthane et de protoxyde d'azote, augmentent la température de l'atmosphère et donc de celle de l'océan. La diminution concomitante de la solubilité de l'oxygène dans l'eau de mer entraînera l'extension des OMZ dans les décennies à venir. De fait, leur volume mondial a déjà été multiplié par quatre depuis le milieu du XX^e siècle. La solubilité réduite n'explique pourtant que moins de la moitié de l'appauvrissement en oxygène. L'essentiel est lié à l'affaiblissement de la circulation océanique, une autre conséquence du réchauffement de l'océan : l'eau de surface devenant moins dense, elle plonge moins et la colonne d'eau devient plus stable. L'oxygénation des profondeurs de l'océan diminue.

NAISSANCE DES ZONES MORTES

