

Quelle biodiversité dans l'océan ?

Par Gilles Boeuf¹

Nous avons ouvert, dans le numéro 437 de la revue (juillet-août), une série consacrée à l'océan, la mer, les littoraux et les diverses activités qui en dépendent. Denis Lacroix, qui coordonne cette série, y alertait sur les conséquences du changement climatique sur le niveau de la mer. Cette fois, c'est le biologiste Gilles Boeuf qui vient confirmer la nécessité de revoir au plus vite nos comportements pour éviter que ne s'aggrave la boucle infernale qui s'est mise en place entre changement climatique et pertes de biodiversité marine, modifications océaniques..., ces pertes et modifications ayant elles-mêmes un impact sur le climat.

Après avoir présenté le rôle déterminant de l'océan dans l'apparition et l'évolution de la vie sur notre planète, Gilles Boeuf souligne ici les spécificités de la biodiversité marine et la richesse qu'elle abrite. Il montre aussi combien les activités humaines (surpêche, pollution, tourisme de masse...) altèrent cette biodiversité, et comment les transformations qu'elles induisent dans les océans jouent un rôle sur le changement climatique (la fameuse boucle). Alors que la plupart des espèces marines ont développé au fil des siècles de formidables capacités d'adaptation, de coopération, de symbiose, l'être humain semble avoir basculé dans l'attitude inverse, avec un risque désormais non négligeable d'autodestruction. Puisse cet article l'inciter, nous inciter, à inverser la tendance... S.D.

L'océan

L'océan constitue le plus grand espace de vie de la planète et recouvre à l'heure actuelle 70,8 % de la surface de la Terre, soit 361 millions de kilomètres carrés. Mais il faut en fait beaucoup plus penser l'océan en volume, soit de l'ordre de 1 370 millions de kilomètres cubes. La profondeur moyenne est autour de 3 800 mètres et la principale caractéristique de ce gigantesque milieu

1. Sorbonne Université, Paris et Laboratoire Arago à Banyuls-sur-Mer ; professeur invité au Collège de France et ancien président du Muséum national d'histoire naturelle.

est sa continuité, ce qui nous amène à beaucoup plus penser en océan global. Parlons de l'océan, et non « des océans », il est unique et en connectivité ! Un autre trait particulier est, par rapport au reste des eaux libres sur la planète, sa salinité. Celle-ci est extrêmement stable en mer ouverte (35 psu*, 1 050 mOsm.l⁻¹, unités qui traduisent la salinité²), mais elle peut varier selon la profondeur. Néanmoins, la composition de l'eau océanique au large est presque la même partout, et ceci depuis des dizaines de millions d'années ; l'océan est ainsi beaucoup plus stable que les autres milieux de vie.

La biodiversité ne saurait être assimilée à une simple liste d'espèces peuplant un écosystème particulier, elle est considérablement plus qu'un catalogue ou un inventaire. C'est en fait tout l'ensemble des relations établies entre les êtres vivants, entre eux, et avec leur environnement. Nous pouvons la définir simplement comme étant la « fraction vivante de la nature ». Elle est issue d'une chimie prébiotique* (antérieure à la vie), bâtie sur une géodiversité* antérieure, et elle s'est diversifiée dans l'océan ancestral il y a environ 3,9 milliards d'années. La vie est finalement apparue assez rapidement, après le refroidissement initial et la condensation des masses d'eau de la Terre.

Christian de Duve, prix Nobel de médecine en 1974, dit dans *Poussière de vie*³, que la Terre était si idéalement positionnée par rapport au Soleil que la vie ne pouvait pas ne pas y apparaître (elle devait donc le faire !) ; Jacques Monod, prix Nobel de médecine en 1965, parlait d'hypothèse improbable ! Les plus anciennes roches sédimentaires connues (île d'Akilia, au sud du Groenland, aussi près de Nuuk) contenant du carbone d'origine biologique sont datées à 3 850 millions d'années (Ma). Il faut imaginer la vie primitive très simple au début, à partir d'un monde ARN et de protocellules. Les gisements de stromatolithes, ces roches précipitant les bicarbonates, avec aujourd'hui de très beaux gisements en Australie, et d'autres récemment découverts au Groenland (3 700 Ma) sont très précieux car ils contiennent dans leurs parties carbonatées les plus anciens fossiles de micro-organismes connus, des cyanobactéries*. Celles-ci sont parties à la conquête généralisée de l'océan il y a 3 700-3 200 Ma, alors sans aucun oxygène atmosphérique. Grâce à leurs pigments spécifiques, ces cellules, en présence d'eau, ont alors développé la photosynthèse, qui produit de l'oxygène et des

2. Les mots suivis d'un astérisque (*) font l'objet d'une définition dans le glossaire ci-contre.

3. DUVE Christian (de), *Poussière de vie. Une histoire du vivant*, Paris : Fayard (Le Temps des sciences), 1996.

GLOSSAIRE

ADN (acide désoxyribonucléique) et ARN (acide ribonucléique) :

acides nucléiques, macromolécules biologiques présentes dans toutes les cellules et support de l'information génétique.

ARN ribosomal : le ribosome constitue la machine d'assemblage d'une protéine, et le principal constituant structural est l'ARN ribosomal (ARN-r).

Biocalcificateur : organisme utilisant les ions carbonates pour bâtir sa coquille, son squelette... (mollusques, crustacés, oiseaux, etc.).

Cyanophycée, cyanobactérie photosynthétique : cellule sans noyau, à l'origine du vivant, encore appelée « algue bleue » ou cyanobactérie. Elles donnent parfois lieu à des explosions des populations, les « blooms » et élaborent alors des substances toxiques.

Cytométrie en flux : technique permettant de faire circuler des particules, molécules ou cellules, à grande vitesse face à un laser, de les compter et de les caractériser.

Électrolyte : un électrolyte est une substance conductrice, car elle contient des ions mobiles. Les électrolytes liquides sont les électrolytes aqueux dans lesquels les ions proviennent d'un sel soluble et les sels fondus qui ne sont constitués que d'ions.

Endémisme : fait d'une espèce localisée, ne vivant qu'en un seul endroit.

Eucaryote : organisme, unicellulaire ou pluricellulaire, avec des cellules avec noyau — exemples :

protistes, champignons, plantes, animaux...

Eutrophisation : phénomène de dégradation d'un environnement aquatique, qui effondre son niveau en oxygène, provoqué par un excès d'apports organiques (pollution agricole, ou avec excès d'azote et de phosphore).

Gamète : cellule reproductrice mature capable de fusionner avec son homologue (spermatozoïde et ovocyte).

Géodiversité : la diversité des roches et des minéraux.

Hypoxie : faible niveau d'oxygène, certains fonds côtiers de la mer Baltique subissent ce phénomène. Cela peut conduire à l'**anoxie**, à savoir la privation totale d'oxygène, autrement nommée « zone morte ».

Gyre océanique : zone où différents courants marins convergent les uns vers les autres, formant d'énormes tourbillons permanents.

Isosmotique (/ anisosmotique) : qui présente une égalité de pression osmotique entre le milieu externe et le milieu inférieur (/ou pas).

Mitochondrie : organite possédant toutes les caractéristiques d'un organisme procaryote, entouré d'une double membrane, composée chacune d'une double couche phospholipidique, et retrouvé chez la plupart des cellules eucaryotes.

Osmorégulation : régulation du métabolisme de l'eau et des sels, particulièrement fondamentale en milieu aquatique.

.../...

Phagocytose : mécanisme permettant aux cellules d'internaliser et de digérer des particules et des micro-organismes. La phagocytose joue un rôle dans les défenses de l'organisme contre des infections bactériennes et parasitaires.

Phylum (phyla) : lignée(s) d'espèces animales ou végétales descendant toutes d'une même souche.

Plaste, appelé aussi plastide : organite présent dans les cellules des eucaryotes chlorophylliens (chez les algues et plantes).

Prébiotique : antérieur à l'apparition de la vie.

Pression osmotique : pression minimale qu'il faut exercer pour empêcher le passage d'un solvant d'une solution moins concentrée vers une solution plus concentrée à travers une membrane biologique semi-perméable, parfois utilisée pour mesurer la quantité de sel ou de sucre, exprimée en milliosmoles par litre (mOsm.l⁻¹).

Procaryote : organisme unicellulaire sans noyau (bactérie).

Psu (practical salinity unit) : 1 psu est la mesure de la salinité correspondant à 1 gramme de chlorure de sodium par litre d'eau ; l'eau de mer au large est à 35 psu.

Service écosystémique : service naturel et gratuit apporté par la nature à l'humanité, comme la purification de l'eau, la pollinisation, la renouvelabilité des ressources vivantes...

Stromatolithe : structure calcifiée, en forme de colonne irrégulière, composée d'une multitude de couches superposées, dont l'édification est due principalement à des cyanobactéries par l'accumulation de carbonate de calcium dans leur paroi.

Symbiote : organisme qui vit en symbiose avec un autre, qui ne peut pas s'en passer, par exemple, les micro-algues zooxantelles et le corail, ou encore les bactéries de l'intestin chez l'humain.

Thermocline : zone de transition thermique rapide entre les eaux superficielles (généralement plus chaudes et oxygénées) et les eaux profondes (plus froides) en mer ou dans un lac.

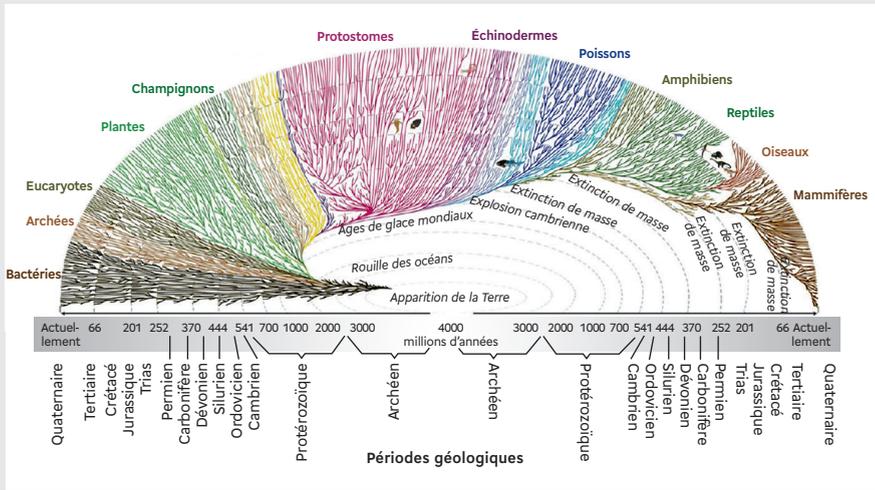
Thermorégulation : mécanisme se rapportant aux animaux homéothermes, qui permet de maintenir la température corporelle constante, quelles que soient les fluctuations extérieures de la température. ■

G.B.

sucres à partir de la lumière et du dioxyde de carbone (CO₂), et ceci avant 3 500 Ma. L'oxygène a ensuite commencé à se diffuser hors du milieu aquatique, la composition de l'atmosphère actuelle avec ses 21 % d'oxygène datant d'environ 100 Ma, au Crétacé.

Dans cet océan ancestral se sont produits des événements déterminants pour le vivant et la biodiversité : 1) l'apparition de la membrane nucléaire et du noyau individualisé (transition procaryote*-eucaryote*) il y a environ 2 200 Ma ; 2) la capture de cyano-

L'arbre du vivant : évolution de la vie depuis l'apparition de la Terre



bactéries ambiantes qui deviendront des symbiotes et les organites de la cellule, la mitochondrie* et le plaste* (chez les végétaux verts chlorophylliens), avec leur propre petit ADN*, il y a respectivement 2 100 et 1 400 Ma ; 3) l'apparition des pluricellulaires il y a 2 100 Ma. Il s'y produira aussi un fait exceptionnel, dans cet océan ancestral, c'est l'apparition de la sexualité, tout d'abord chez les procaryotes (les bactéries), plus tard aussi chez les eucaryotes (cellules à noyau), qui se révélera si importante pour l'explosion de la biodiversité. La reproduction sexuée permet un brassage génétique créateur de nouveauté et d'une diversité sans précédent : tous les individus sont différents. Une population pourvue de sexualité évolue beaucoup plus vite. De plus, la prévalence de la sexualité permet le développement de la « course aux armements » des parasites et de leurs hôtes (coévolution et dialogue moléculaire), le brassage génétique permettant à terme plus rapidement de « désarmer » le parasite et une sélection sexuelle, bien différente de la sélection naturelle.

Les conséquences physiques des flux osmotiques (eau et électrolytes*, les « sels ») en environnement marin ont conduit le vivant à deux types de stratégie : 1) dans l'immense majorité des cas, de la première cellule initiale aux crustacés, une régulation isosmotique* intracellulaire, entraînant pour l'organisme vivant, séparé de l'eau de mer par une membrane biologique, la même pression osmo-

tique*, qui traduit la salinité (de l'ordre de 1 000 mOsm.l⁻¹) à l'intérieur (milieux intracellulaire et « intérieurs », extracellulaire) que celle de l'eau de mer ; 2) plus tard, à partir des arthropodes*, une régulation anisosmotique* extracellulaire pour laquelle les cellules et fluides internes sont beaucoup moins concentrés (3-400 mOsm.l⁻¹) que l'eau de mer. L'océan est à 1 050, une rivière à 10-20 et le sang et les cellules de l'humain sont à 302 mOsm.l⁻¹. Ceci permettra la sortie de l'océan. Le comportement perpétuel de boisson en mer, chez un poisson osseux par exemple, associé à des mécanismes très actifs d'excrétion des électrolytes par la branchie, l'amène constamment à trouver un délicat compromis entre une surface maximale de branchie à développer pour aller capter l'oxygène dans un milieu pauvre et très changeant, et par ailleurs une surface minimale pour éviter de graves déséquilibres hydrominéreaux.

Pour la température, bien plus tard, au Trias, après la troisième grande crise d'extinction des espèces il y a 251 Ma, les prémices de la thermorégulation* (une température constante quelles que soient les fluctuations extérieures) se sont développées et ont trouvé leur efficacité optimale chez les grands dinosauriens, puis surtout chez les oiseaux et les mammifères. Aujourd'hui 12 *phyla** sont exclusivement marins chez les animaux et n'ont jamais quitté l'océan (échinodermes, brachiopodes, chætogonathes...). Par ailleurs, les biomasses peuvent être considérables en mer, les seules bactéries de la couche de subsurface de l'océan représentant à elles seules plus de 10 % de toute la biomasse carbonée de la planète. L'environnement marin a donc joué un rôle déterminant dans l'histoire de la vie, et l'océan actuel garde son rôle primordial dans l'évolution de la vie et du climat.

Spécificités de la biodiversité marine

La biodiversité marine est bien particulière. La diversité spécifique reconnue dans les mers ne dépasse pas 13 % de l'ensemble des espèces vivantes actuellement décrites, soit moins de 300 000. Ceci est peu et peut être lié à deux raisons. La première, c'est que les connaissances, surtout pour les zones profondes et pour les micro-organismes, bactéries et protistes divers, ne sont encore que très partielles : nous sous-estimons donc considérablement la biodiversité océanique. Les nouveaux moyens, comme le couplage entre la cytométrie* en flux et les sondes moléculaires permettent la découverte d'une extraordinaire diversité biologique. Les séquençages massifs actuels de la masse d'eau océanique, le « sé-



© Littlesam / Shutterstock

quénçage de mers » (soit selon Craig Venter, le séquençage de tout l'ADN dans un volume d'eau de mer filtrée) apportent des données pour la plupart inconnues.

La navigation circum-océanique Tara Océans (première campagne 2009-2013) nous a fourni en 2015 des informations très précieuses sur l'abondance et la variété des virus, bactéries et protistes (grosses cellules à noyau comme les microalgues ou les levures), en particulier des dinoflagellés. Ces protistes pourraient peut-être représenter près d'un million d'espèces. Pour tous les procaryotes et les très petits eucaryotes, les approches moléculaires (séquençages de l'ARN* ribosomal 16S ou 18S entre autres) apportent chaque jour des connaissances étonnantes. Par ailleurs, et c'est la seconde raison, il est aussi clair que les écosystèmes marins et le mode de vie dans un milieu continu (à travers la dispersion des gamètes* et des stades larvaires) des espèces qui les peuplent, prédisposent moins à l'endémisme* (le fait de ne vivre que sur un petit espace et nulle part ailleurs au monde) strict que dans les biotopes terrestres. Il existe beaucoup plus de barrières et d'isolats favorables à la spéciation (processus évolutif par lequel de nouvelles espèces vivantes apparaissent) sur terre qu'en mer. En revanche, les biomasses marines peuvent être considérables et la seule performance du phytoplancton dans sa capacité à se renouveler peut dépasser les 50 % de la productivité totale de la planète.

Si aujourd'hui, il existe de cinq à sept fois plus de taxons continentaux reconnus, comparativement aux mers et océan, nous pouvons bien sûr nous interroger sur cette question, car initialement la vie fut exclusivement marine, avant les sorties massives, plusieurs fois, en différents endroits sous différentes formes, de l'océan il y a environ 440 Ma pour les métazoaires élaborés. La grande crise d'extinction Permien-Trias jouera un rôle primordial avec 96 % d'extinction d'espèces, tant marines que continentales il y a

251 Ma. L'explosion des espèces de plantes à fleurs, des insectes et de beaucoup d'autres groupes sur Terre il y a 130-110 Ma fut déterminante après les radiations (explosion du nombre d'espèces à partir d'une seule, ancestrale) initiales, dès le Dévonien (420 Ma) puis surtout le Carbonifère (359 Ma).

La très grande variété des modes de reproduction en mer tire aussi parti des phénomènes de dispersion dans les masses d'eau, mâle et femelle n'étant pas toujours contraints d'être proches ! Ainsi, connectivité et variations bien plus faibles des facteurs environnementaux créent-elles la grande stabilité de l'océan au large et des caractéristiques bien spécifiques de la biodiversité qu'il abrite. Les espèces marines en revanche vivraient beaucoup plus longtemps. Les systèmes côtiers, intermédiaires, avec de fortes influences terrigènes, sont eux soumis à des variations beaucoup plus grandes. La stabilité de l'océan ouvert, au moins depuis 100 millions d'années, est aussi tout à fait extraordinaire : pH (il varie peu), pression osmotique et salinité, températures, pressions hydrostatiques liées à la profondeur, contenus en gaz dissous... Les activités humaines sont en train de changer cela et c'est très préoccupant : acidification, eaux sans oxygène...

Enfin, n'oublions pas que la biodiversité est bien plus que la seule diversité spécifique, incluant à la fois les espèces et leur abondance relative. Le sens du mot « biodiversité » a été diversement explicité mais exprime globalement « l'information génétique que contient chaque unité élémentaire de diversité, qu'il s'agisse d'un individu, d'une espèce ou d'une population ». Ceci détermine son histoire, passée, présente et future. Même, cette histoire est déterminée par des processus qui sont eux-mêmes des composantes de la biodiversité. En fait, aujourd'hui on regroupe diverses approches sous ce terme : 1) l'étude des mécanismes biologiques fondamentaux permettant d'expliquer la diversité des espèces et leurs spécificités, et nous obligeant à davantage étudier les mécanismes de la spéciation et de l'évolution ; 2) les approches plus récentes et prometteuses en matière d'écologie fonctionnelle et de biocomplexité, incluant l'étude des flux de matière et d'énergie et les grands cycles biogéochimiques ; 3) les travaux sur la nature « utile » pour l'humanité dans ses capacités à fournir des aliments, des substances à haute valeur ajoutée pour des médicaments, produits cosmétiques, les fameux « services rendus par la nature », des sondes moléculaires, ou encore à offrir des modèles ancestraux et originaux pour la recherche fondamentale et finalisée, afin de résoudre des questions

agronomiques ou biomédicales ; et enfin 4) la mise en place de stratégies de conservation pour préserver et maintenir un patrimoine naturel constituant un héritage naturellement attendu par / pour les générations futures.

À partir de cette biodiversité, les humains pêchent depuis des temps ancestraux, certainement des dizaines de milliers d'années. Dès qu'ils sont parvenus sur des rivages, ils se sont mis à collecter des coquillages, des algues, à piéger des poissons... Comme en agriculture et dans les milieux continentaux, l'humain s'est aussi mis à élever certaines espèces marines sur les littoraux, et ceci depuis au moins 4 000 ans (Égypte, Chine...). L'exploitation des ressources vivantes aquatiques renouvelables est en plein essor, mais avec de sérieuses inquiétudes sur sa durabilité. Les derniers chiffres disponibles de l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) en 2020, pour l'année 2018, donnent des valeurs de 84,4 millions de tonnes (Mt) pour les pêches maritimes, 12,5 Mt pour les pêches continentales, 33,3 Mt pour les algues (dont seulement 0,9 Mt pour la pêche) et 98 Mt pour l'aquaculture (dont 52,7 Mt pour la mer, avec 32,4 Mt pour les plantes), soit un total, tout confondu pour tous les groupes, tous les milieux aquatiques et tous les modes de production, d'environ 211,8 Mt. Sur une valeur totale, hors algues, de 401 milliards de dollars US, l'aquaculture en représente 250. En aquaculture, les productions sont de 54,3 Mt en poissons (la majorité en eau douce), 32,4 Mt en algues, 17,5 Mt en mollusques, 9,4 Mt en crustacés et 0,9 Mt en divers (oursins, ascidies, seiches, holothuries...). La consommation actuelle des humains, en moyenne, de produits aquatiques est de 20,5 kilogrammes par habitant et par an (données FAO, 2020).

Phénomène lié au changement climatique et au réchauffement de la masse d'eau, les stocks halieutiques remontent en moyenne de 72 kilomètres vers le nord tous les 10 ans dans l'hémisphère nord et



© Watchares Hansawek / Shutterstock

la surpêche mondiale est très préoccupante : on a extirpé de l'océan entre 50 % et 90 % de tous les grands individus des poissons pélagiques en 15 ans ! Les trois quarts de tous les stocks sont pleinement exploités ou surexploités (> 30 %). L'aquaculture est en plein essor mais pose toujours les questions d'impacts environnementaux, de transplantations d'espèces et, pour certains types d'activités, d'usage de protéines animales dans l'alimentation des espèces d'intérêt (elles sont carnivores, les saumons par exemple). L'océan vivant, ce ne sont pas que ces ressources vivantes, ce sont aussi de l'ordre de 26 000 molécules d'intérêt pharmacologique (anticancéreux, antibiotiques, immunostimulants, immunosuppresseurs, facteurs de croissance, sondes moléculaires...) ou cosmétique, et d'extraordinaires et fort pertinents modèles pour la recherche scientifique et les applications biomédicales ou agronomiques qui en découlent. Par exemple, la phagocytose* et les molécules clefs de la cancérisation ont été découvertes grâce à des oursins et étoiles de mer, les bases moléculaires de la mémoire grâce à une limace de mer, la transmission de l'influx nerveux grâce au nerf du calmar, le choc anaphylactique grâce au venin de méduse... Toutes ces découvertes ont valu à leurs auteurs un prix Nobel.

Océan et climat

L'océan et l'atmosphère sont en intime connexion et échangent de l'énergie sous forme de chaleur et d'humidité. L'océan absorbe la chaleur (93 %) beaucoup plus que les surfaces de glace ou les continents, et stocke l'énergie beaucoup plus efficacement. Il relargue cette chaleur plus lentement que les continents et contribue au climat plus tempéré des zones côtières. L'océan est ainsi un formidable régulateur du climat. Des changements dans la balance énergétique entre atmosphère et océan jouent un rôle important dans le changement climatique. La circulation océanique est affectée par la circulation atmosphérique et les courants de surface sont sous la dépendance des vents. Ils mélangent les eaux de surface jusqu'à la thermocline* sous laquelle les forces essentielles de circulation sont liées à la température et à la salinité, influençant la densité de l'eau. L'océan alimente ainsi les gigantesques quantités d'énergie libérées accompagnant la genèse des tempêtes et cyclones affectant aussi les continents et les populations humaines.

Les *upwellings*, remontées d'eau froide profonde sur les côtes, riches en nutriments, modifient profondément les climats côtiers, et leurs fluctuations sont aussi essentielles, à prendre en compte pour

comprendre le système climatique. Les trois premiers mètres de profondeur de l'océan stockent à eux seuls plus d'énergie que la totalité de l'atmosphère,



© Gilles Boeuf

et l'océan a de gigantesques capacités d'inertie thermique et dynamique. Ce service de redistribution des masses d'eau en transportant les eaux chaudes des tropiques vers les pôles, et *vice versa*, est fondamental. L'océan profond joue un rôle considérable dans ces capacités de stockage et de relargage de chaleur, cet immense réservoir de chaleur confère à l'océan un extraordinaire rôle de modérateur des variations climatiques. Il contrôle la formation des vents et des pluies.

L'océan piège et stocke également le CO_2 (26 %-30 %) et évite ainsi un trop prononcé effet de serre dans l'atmosphère, mais malheureusement, en contrepartie, il s'acidifie à cause de la production d'acide carbonique. Il est aujourd'hui 30 % plus acide qu'il y a 250 ans. Le phytoplancton océanique stocke également du CO_2 dans la couche de surface ainsi que tous les biocalcificateurs*. Des problèmes d'eaux hypoxiques* sont aussi fréquemment rapportés. Les transports océaniques redistribuent ainsi chaleur et salinité, ces deux effecteurs contrôlant grandement la machine climatique. Les courants des bordures ouest et est des continents jouent un rôle déterminant et leurs fluctuations dans le passé ont conduit aux alternances des phases glaciaires.

* *

Si l'océan joue ainsi un rôle essentiel sur le climat, les pertes en diversité biologique et les pollutions altèrent aussi l'océan et causent des conditions de changement climatique en retour. La quantité de dioxyde de carbone dans l'atmosphère et dans l'océan augmente. Les températures moyennes de l'air de la couche inférieure de l'atmosphère (près de la surface du globe) et de la surface de l'océan sont en hausse. Et le niveau moyen de l'océan se relève

trois à quatre fois plus vite qu'il y a une cinquantaine d'années. Les changements rapides de la composition chimique de l'eau de mer ont un effet délétère sur les écosystèmes océaniques qui étaient déjà stressés par la surpêche et la pollution. Cette pollution est massive et généralisée, dans tous les endroits du globe, l'humain étant capable de contaminer des zones où il n'est même pas présent (Arctique et Antarctique) ! Les phénomènes côtiers d'eutrophisation* sont fréquents. Les microparticules de plastique se sont accumulées, sous l'influence des gyres* océaniques en gigantesques concentrations dans cinq zones de l'océan mondial. Aucun effluent souillé ne devrait plus parvenir à la mer ! C'est un océan vivant qui peut jouer tous ces rôles. Si l'océan ne peut être détruit, comme une mare (en construisant un parking par dessus, par exemple !), le littoral, lui, est totalement détruit par endroits (villes littorales).

Ainsi, si le changement climatique joue un rôle direct sur les pertes de diversité biologique, celles-ci contribuent aussi en retour au dérèglement lui-même. Et n'oublions pas que les effets de ce climat trop rapidement changeant s'ajoutent à ceux liés à la destruction et à la pollution des littoraux, aux surexploitations systématiques des ressources vivantes et à la dissémination anarchique d'espèces (dont les ballastages de grands navires). Il est aussi très important de légiférer astucieusement avant toutes exploitations minérales profondes, le milieu profond étant particulièrement fragile (très longue stabilité). Le tourisme de masse pose aujourd'hui aussi problème si on ne prend pas garde à la démesure : taille des navires, nombre de passagers, irresponsabilité écologique, destinations *pristine* (territoires vierges)... En fait, tout est là, et il est grand temps de réagir : suite à la crise de la Covid-19, beaucoup parlent du « jour d'après » et il est réel que les éléments de la relance ne doivent pas porter les germes d'une situation encore plus dangereuse ! Le coronavirus se reproduit de nos fragilités...

En conclusion, le monde vivant est vieux de près de quatre milliards d'années, il s'est formé à partir de ces premières cellules apparues dans l'océan ancestral, il a subi les pires crises imaginables et s'en est toujours sorti ; pour cela, il a dû en permanence s'adapter à des conditions extérieures changeantes. Mais pour s'adapter, il faut impérativement changer, ce que nous ne faisons toujours pas ! Quand cesserons-nous cette « myopie du désastre » ? Trop de consumérisme, pas assez de sobriété : rappelons-le nous en permanence, nous sommes fondamentalement eau, sels et cellules ; inspérons-nous du vivant, qui accomplit tout avec une grande

parcimonie d'énergie, qui ne s'auto-empoisonne jamais (il produit de redoutables substances mais sait les dégrader et a toujours un acheteur pour ses déchets), qui innove en permanence et pour tous. Nous avons besoin de la biodiversité pour survivre. Nous ne mangeons que cela et ne coopérons qu'avec cela ! Puisse un petit virus composé de seulement 15 gènes provoquer l'électrochoc collectif salutaire dont nous avons tant besoin... ■

ORIENTATIONS BIBLIOGRAPHIQUES

BIBARD Laurent, « Coronavirus, quand l'illusion de notre maîtrise de la nature se dissipe », *The Conversation*, 2 avril 2020. URL : <https://theconversation.com/coronavirus-quand-lillusion-de-notre-maitrise-de-la-nature-se-dissipe-135332>

BOEUF Gilles, « Océan et recherche biomédicale », *Journal de la Société de biologie*, vol. 201, n° 1, 2007, p. 5-12.

BOEUF Gilles et KORNPBST Jean-Michel, « Biodiversité et chimiodiversité marines », *Biofutur*, vol. 28, n° 301, 2009, p. 28-33.

BOEUF Gilles, « Marine Biodiversity Characteristics », *Comptes rendus Biologies*, vol. 334, n° 5-6, mai 2011, p. 435-440.

BOEUF Gilles, « Océan, biodiversité et ressources », in André MONACO et Patrick PROUZET (sous la dir. de), *Vulnérabilité du système océanique*, Londres : ISTE Editions, 2014, p. 19-48.

BOEUF Gilles, *La Biodiversité, de l'océan à la cité*, Paris : Collège de France (Leçons inaugurales du Collège de France) / Fayard, 2014.

BOEUF Gilles, « La planète bleue », *Reliefs*, n° 6, 2017, p. 43-51.

BOEUF Gilles, « Notre ennemi n'est pas le virus mais nous-mêmes », *La Tribune*, 12 mai 2020. URL : <https://acteursdeconomie.latribune.fr/debats/opinion/2020-05-12/gilles-boeuf-notre-ennemi-n-est-pas-le-virus-mais-nous-memes-847472.html> ; et publié in Denis LAFAY (sous la dir. de), *Maintenant, on fait quoi ?*, La Tour-d'Aigues : L'Aube, 2020, p. 285-292.

COLLECTIF, « Arrêter de maltraiter les animaux et les écosystèmes est aussi un impératif de santé humaine », tribune signée par 16 scientifiques, publiée dans *Le Monde*, 7 mai 2020.

CRIQUI Patrick et TREYER Sébastien, « Pensez l'après : la reconstruction plutôt que la reprise », *The Conversation*, 24 avril 2020. URL : <https://theconversation.com/penser-lapres-la-reconstruction-plutot-que-la-reprise-137042>

DÍAZ Sandra *et alii*, « Pervasive Human-driven Decline of Life on Earth Points to the Need for Transformative Change », *Science*, vol. 366, n° 6471, décembre 2019. URL : <https://science.sciencemag.org/content/366/6471/eaax3100>

EHRlich Paul R. et EHRlich Anne H., « Can a Collapse of

Global Civilization Be Avoided? », *Proceedings of the Royal Society, B*, vol. 280, n° 1754, 2013. URL : <https://royalsocietypublishing.org/doi/full/10.1098/rspb.2012.2845>

IPBES (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services), *Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services: Summary for Policymakers*, Bonn : IPBES, 2019. URL : <https://ipbes.net/global-assessment>

MÉDA Dominique, « Penser l'après : seule la reconversion écologique pourra éviter la déshumanisation du travail », *The Conversation*, 8 mai 2020. URL : <https://theconversation.com/penser-lapres-seule-la-reconversion-ecologique-pourra-eviter-la-deshumanisation-du-travail-138008>

PACIFICI Michela *et alii*, « Species' Traits Influenced their Response to Recent Climate Change », *Nature Climate Change*, vol. 7, 2017, p. 205-208.

PECL Gretta T. *et alii*, « Biodiversity Redistribution under Climate Change: Impacts on Ecosystems and Human Well-being », *Science*, vol. 355, n° 6332, 31 mars 2017.

POLOCZANSKA Elvira S. *et alii*, « Global Imprint of Climate Change on Marine Life », *Nature Climate Change*, vol. 3, 2013, p. 919-925.

ROCKSTRÖM Johan *et alii*, « A Safe Operating Space for Humanity », *Nature*, vol. 461, 2009, p. 472-475.

THOMAS Chris D. *et alii*, « Extinction Risk from Climate Change », *Nature*, vol. 427, n° 6970, février 2004, p. 145-148.

WORM Boris *et alii*, « Impacts of Biodiversity Loss on Ocean Ecosystem Services », *Science*, vol. 314, n° 5800, 3 novembre 2006, p. 787-790. ■

URL consultés
le 25 novembre 2020.