

La planète Terre photographiée par le satellite Terra de la NASA, 2011

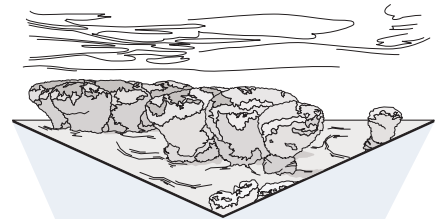
DOSSIER

43

Revue Reliefs de nov 2017

ISBN 979-10-96554-23-2

LA PLANÈTE BLEUE



Au-delà des enjeux géopolitiques concernant le découpage territorial des zones de haute mer, l'océan est aux yeux des océanographes une entité une et indivisible, à l'origine de la vie sur terre. L'interaction entre l'homme et l'océan se révèle pourtant de plus en plus problématique: la montée du niveau de la mer, l'augmentation de l'acidité de l'océan, la perte de la biodiversité, la surpêche et la pollution généralisée, sont autant de symptômes témoignant d'un écosystème océanique mis en danger par les activités humaines.



Gilles Boeuf
Biologiste

C'EST QUOI L'OcéAN ?

AU TOUT DÉBUT du très beau film *Océans*, réalisé par Jacques Perrin et Jacques Cluzaud, le fils du premier lui demande : « Dis, c'est quoi l'océan ? » Oui, c'est quoi l'océan ? L'image qui nous vient immédiatement en tête est celle d'une immense étendue d'eau salée baignant les rivages de tous les continents émergés. Or, l'océan est bien plus que cela ! Si sa surface représente 70,8 % du globe terrestre, son volume dépasse quant à lui 1 370 millions de km³, avec une profondeur moyenne de 3 800 mètres. La planète bleue porte ainsi bien son nom...

Pour comprendre le fonctionnement de la Terre, il est indispensable de s'intéresser à l'océan. Son rôle a été déterminant dans l'histoire des origines du vivant, dès le tout début de l'aventure biologique terrestre. C'est en son sein que la vie s'est développée. L'océan permet aussi d'étudier l'évolution du climat, et ce du fait des trois propriétés essentielles qui le caractérisent : salinité, stabilité et connectivité. En effet, depuis ses origines et aujourd'hui encore, l'océan est salé. Comparativement aux milieux continentaux, il est stable : depuis au moins des dizaines de millions d'années, les variations de salinité, de température dans les profondeurs et d'acidité ont été faibles. Enfin, il est en totale connectivité et unique, c'est-à-dire que la science océanique ne considère qu'un seul océan, les frontières délimitant « les océans » étant de purs artifices humains.

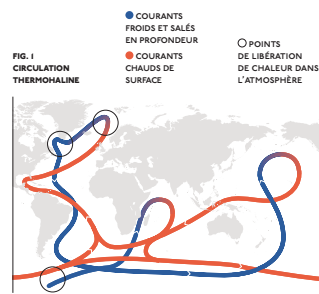
Aujourd'hui, malgré son immensité et son apparente invulnérabilité, l'océan est détérioré par les activités humaines. Par ailleurs, en raison des fortes contraintes techniques qui pèsent sur l'exploration des profondeurs (capsules, sous-marins, bathyscaphes, robots...), il est encore assez mal connu. Le premier humain à être descendu à plus de 900 mètres fut William Beebe grâce à sa bathysphère en 1934. Au fil des plongées, il est apparu que si dans les fonds marins les plus reculés un monde froid et sans lumière nous attendait, d'autres sites étaient de véritables oasis de vie, comme les sources hydrothermales découvertes en 1977. L'océan, c'est donc aussi sous la surface des couleurs, des sons, des chimies subtiles et des formes de vie incroyables !

OcéAN ET ATMOSPHÈRE

Au bord d'un rivage, un jour de calme plat, observons un bout d'océan, cherchons à l'horizon cette subtile limite entre la mer et l'air, et songeons aux échanges incessants entre ces deux fluides. De nombreuses différences physiques existent entre eux : densité, viscosité, température, salinité, oxygène dissous, acidité, pression hydrostatique... et pourtant, l'océan et l'atmosphère sont étroitement connectés ! Ils échangent effectivement de l'énergie sous forme de chaleur et d'humidité : dans le sens descendant, l'océan absorbe la chaleur contenue dans l'atmosphère et stocke cette énergie beaucoup plus efficacement que les surfaces de glace ou les continents. Il la relargue ensuite plus lentement vers l'atmosphère, contribuant ainsi au climat tempéré des zones côtières. Grâce à ce phénomène de stockage et de relargage, l'océan est un formidable modérateur du climat. La circulation océanique est en retour affectée par la circulation atmosphérique, et les courants de surface dépendent des vents qui les alimentent. Ces derniers mélangent les eaux de surface jusqu'à une frontière invisible à quelques mètres de profondeur, la thermocline*.

En dessous, l'eau est plus froide et les forces essentielles de circulation de l'eau sont alors liées à la température et à la salinité, influençant la densité de l'eau (circulation thermohaline, fig. 1). Dans le sens ascendant, l'océan alimente les gigantesques quantités d'énergie, accompagnant la genèse des tempêtes et cyclones qui affectent les continents et les populations humaines. Par son évaporation, il contrôle aussi la genèse des précipitations sur les continents. Les *upwellings*, remontées d'eau froide profonde sur les côtes (Namibie, Maroc, Pérou et Chili), riches en nutriments, modifient par ailleurs profondément les climats côtiers et leurs fluctuations nous renseignent énormément sur le fonctionnement du système climatique. Sur ces côtes où remontent les eaux profondes, le désert est total côté terre (Namib, Atacama), là où une biodiversité marine incroyable se développe côté mer. Ces zones sont ainsi exceptionnellement riches en poissons pélagiques*, ce qui en fait les aires de pêches parmi les plus productives au monde, avec de fabuleuses colonies d'oiseaux de mer et beaucoup de mammifères marins.

Les trois premiers mètres de l'océan stockent à eux seuls autant d'énergie que la totalité de l'atmosphère. L'océan a de gigantesques capacités d'inertie thermique et dynamique, ce qui lui permet de stocker la chaleur beaucoup plus efficacement que les continents (93 % contre 3 % quant à l'excédent d'énergie résultant de l'augmentation



de la concentration atmosphérique des gaz à effet de serre due aux activités humaines). Ce « service » de redistribution des masses d'eau par transport des eaux chaudes depuis les tropiques vers les pôles et vice versa est fondamental pour l'équilibre de la planète. Appelé « tapis roulant océanique », il relie la surface et les profondeurs et constitue une masse d'eau pélagique qui représente, de très loin, le plus grand volume spatial offert à la vie sur la Terre. Le *Gulf Stream*, « notre courant » chaud qui tempère si bien les côtes ouest de l'Europe, vient du golfe du Mexique (entre la Floride et les Bahamas), et serait apparu il y a environ 4 millions d'années. Il est généré, propulsé et contrôlé par une combinaison d'interactions au nombre desquelles comptent les forces du vent, les différences de densité de l'eau (température et salinité), les apports d'eau douce continentale et pluviale et la géographie des côtes.

Dans les échanges océan/atmosphère, le dioxyde de carbone (CO₂) joue un rôle crucial pour les problématiques climatiques actuelles. Dans l'atmosphère, il est responsable (avec d'autres gaz comme le méthane ou la vapeur d'eau) de l'effet de serre, c'est-à-dire du blocage et de la réflexion du rayonnement thermique du soleil. Or l'océan piège et stocke le CO₂ (entre 26 et 30 %) et modère ainsi l'effet de serre. Malheureusement, lorsqu'il passe en milieu aqueux, le gaz carbonique se transforme en acide carbonique. L'augmentation de la quantité de CO₂ atmosphérique recaptée par l'océan a entraîné depuis 250 ans une acidification considérable de l'océan, de l'ordre de 30 %. Ce phénomène a été accompagné d'une chute des carbonates car, à l'état normal, l'océan contient 50 fois plus de carbone que l'atmosphère et l'échange en permanence avec elle : c'est un « puits » de carbone.

LES TROIS PREMIERS MÈTRES DE L'OcéAN STOCKENT À EUX SEULS AUTANT D'ÉNERGIE QUE LA TOTALITÉ DE L'ATMOSPHÈRE.

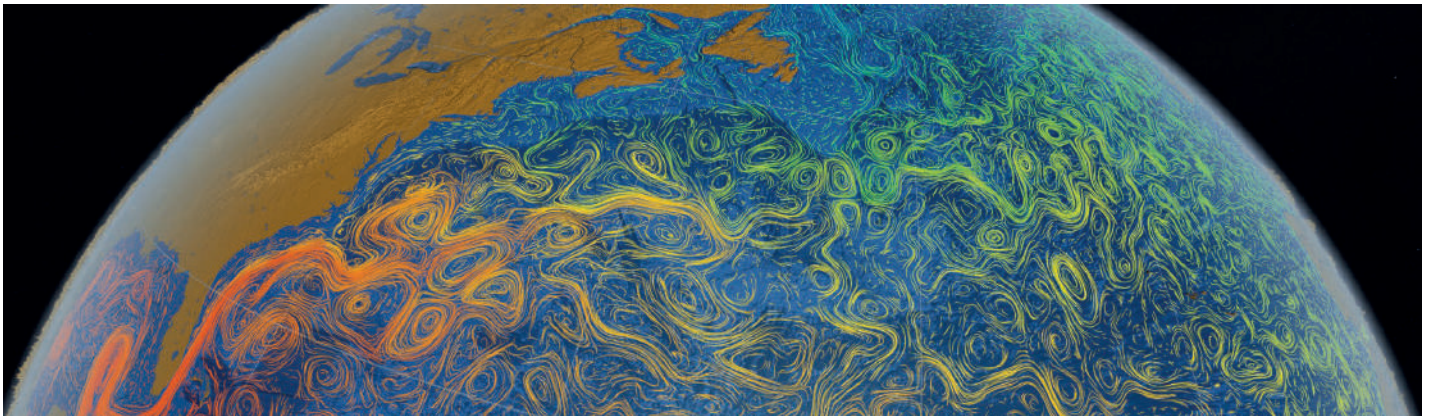
Un autre effet important du changement climatique est la montée rapide du niveau de la mer : actuellement, elle est de 3,4 mm/an alors que depuis 5 000 ans et jusque dans les années 1990, elle était de 1 mm/an. Il y a 19 000 ans, la température moyenne de la Terre était de 4 °C inférieure à celle d'aujourd'hui et l'océan 125 m plus bas que de nos jours. Le niveau de la mer avait remonté très vite vers -10 000 ans. La remontée actuelle est due à l'expansion de la masse d'eau, plus chaude, causée par la fonte rapide des glaciers continentaux ainsi que par le relargage en mer d'eaux douces fossiles pompées pour l'agriculture. Les dernières prévisions de la montée du niveau de la mer sont de l'ordre de 1 à 2 m pour la fin du siècle.

N'oublions cependant jamais que l'océan est vivant et ne peut assumer tous ces rôles que parce qu'il contient de gigantesques quantités de plancton. À lui seul, le phytoplancton (plancton « végétal » assurant la photosynthèse) a la capacité de produire plus de 50 % de toute la biomasse carbonée de la planète ! Toutefois, sa population est en diminution depuis une centaine d'années. Ainsi en arrivons-nous à l'océan biologique.

ÉMERGENCE DE LA VIE SUR TERRE À PARTIR DE L'OcéAN

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 par les êtres vivants entre eux et avec leur environnement. Nous pouvons la définir simplement comme étant la fraction vivante de la nature.

Or, c'est dans l'océan que la vie est née ! Elle est issue d'une chimie prébiotique* bâtie sur une géodiversité* antérieure. Elle s'est ensuite diversifiée sur 3,9 milliards d'années. Il faut imaginer que la vie ancestrale était à l'origine un système très simple construit à partir d'un monde ARN* et de proto-cellules (ancêtres des cellules vivantes). Témoins de ce passé très ancien, les gisements actuels de stromatolithes, roches précipitant le bicarbonate (dont on trouve de très beaux spécimens en Australie), sont très



Visualisation du Gulf Stream par unité de température des courants de surface : bleu ≤ 0 °C, jaune = 17 °C, rouge ≥ 33 °C. Image de synthèse, 2012, NASA

précieux car ils contiennent dans leurs parties siliciées les plus anciens fossiles de micro-organismes connus : les cyanobactéries. Celles-ci sont parties à la conquête de l'océan entre -3,4 et -3,2 milliards d'années, alors que l'atmosphère ne contenait aucun oxygène. Grâce aux pigments spécifiques des cellules et à la présence d'eau, l'activité photosynthétique est apparue sur Terre. La photosynthèse produit de l'oxygène et des sucres à partir de la lumière et du dioxyde de carbone (CO₂). L'oxygène a ensuite commencé à diffuser hors du milieu aquatique pour former l'atmosphère.

Dans cet océan ancestral se sont produits des événements déterminants pour le vivant et la biodiversité : l'apparition de la membrane nucléaire et du noyau individualisé (transition procaryote* - eucaryote*) vers 2 200 millions d'années (Ma) ; la capture de cyanobactéries ambiantes qui deviendront des symbiotes* et les organites de la cellule, la mitochondrie et le plaste, avec leur propre petit ADN, respectivement vers 2 100 et 1 400 Ma ; l'apparition des pluricellulaires et métazoaires* vers 2 100 Ma. Dans cet océan ancestral se produira un autre fait exceptionnel : l'apparition de la sexualité, d'abord chez les procaryotes (les bactéries), puis plus tard aussi chez les eucaryotes. Cet événement se révélera fondamental pour l'explosion de la biodiversité.

UNE BIODIVERSITÉ VASTE ET PEU CONNUE

La biodiversité marine actuelle est très spécifique. Il y a six fois moins d'espèces connues dans l'océan que sur les continents, mais les biomasses marines sont gigantesques. Par exemple, aujourd'hui, 12 phyla* sont exclusivement marins chez les animaux et n'ont jamais quitté l'océan (Échinodermes*, Brachiopodes, Chaetognathes...). Les seules bactéries de la couche de subsurface de l'océan représentent 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.

La diversité spécifique connue dans l'océan ne dépasse pas 13 % de l'ensemble des espèces vivantes actuellement décrites, soit moins de 260 000 espèces (sur un peu plus de 2 millions). Deux raisons peuvent expliquer la faiblesse de ce chiffre. La première relève de l'état de nos connaissances, qui ne sont que parcellaires, surtout en ce qui concerne les zones profondes et les micro-organismes, bactéries et protistes divers : nous sous-estimons donc considérablement la biodiversité océanique. Les nouveaux moyens, comme le couplage entre la cytométrie en flux* et les sondes moléculaires, permettent

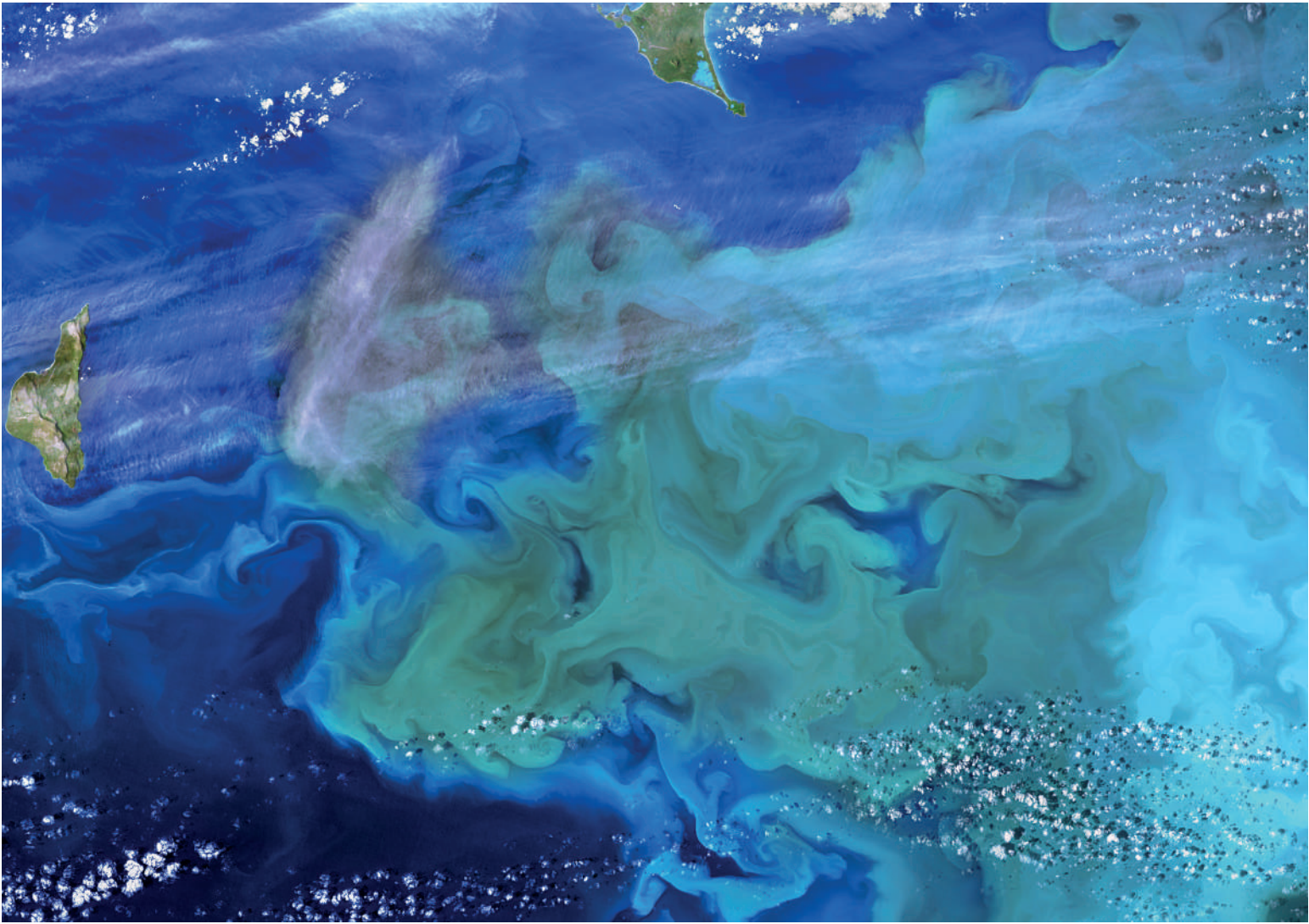
petit à petit de combler ce vide. Les séquençages massifs actuels de la masse d'eau océanique, dits « séquençage de mers » (séquençage de tout l'ADN dans un volume d'eau de mer filtrée), apportent des données pour la plupart inédites. La navigation circum-océanique du bateau de recherche *Tara Oceans* nous a fourni en 2015 des informations précieuses sur l'abondance et la variété des virus, bactéries et protistes de la couche superficielle de l'océan. Pour tous les procaryotes et les très petits eucaryotes, les approches moléculaires apportent chaque jour des connaissances étonnantes.

Zooplankton *Beroidea* présent dans les essais de méduses. Le zooplankton, plancton animal, régule (par sa prédation) le phytoplancton végétal en surface des océans, qui absorbe le CO₂ de l'atmosphère dissous dans la mer.

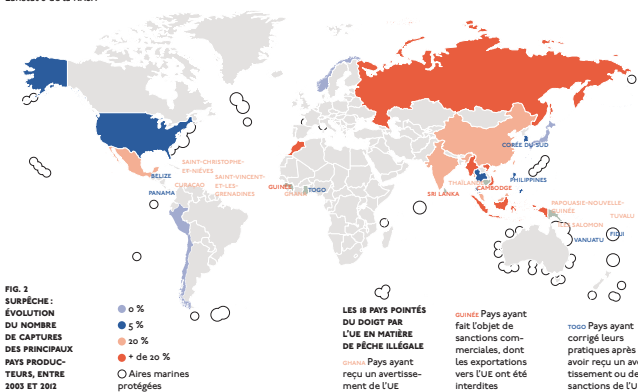


Par ailleurs, et c'est la seconde raison, il est aussi clair que les écosystèmes marins et le mode de vie dans un milieu continu (à travers la dispersion des gamètes* et des stades larvaires) des espèces qui les peuplent prédisposent moins à l'endémisme* strict que les biotopes terrestres. Il existe 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. Cela entraîne des différences importantes en matière de diversité spécifique, les niches écologiques marines au large n'atteignant pas la richesse des terrestres, beaucoup plus morcelées et favorables aux spéciations nouvelles. Si sur terre il n'est pas rare de trouver des espèces vivant sur quelques kilomètres carrés seulement, nous ne connaissons pas d'exemples d'espèces aussi confinées en mer. La très grande variété des modes de reproduction en mer tient aussi des phénomènes de dispersions dans les masses d'eau, mâle et femelle n'étant pas toujours contraints d'être proches ! Ainsi, connectivité et faiblesse des variations des facteurs environnementaux créent-elles la grande stabilité de l'océan au large et les caractéristiques bien spécifiques de la biodiversité qu'il abrite. Les systèmes côtiers, intermédiaires avec de fortes influences terrigènes, sont quant à eux soumis à des variations plus importantes.

Le milieu marin est moins connu que les systèmes continentaux et il y reste à découvrir tant de choses, nouvelles formes de vie, curiosités, étrangetés biologiques, sources



PAGES 47-49
Bloom de phytoplancton,
à proximité de l'île Pribilof
Alaska, en septembre 2014.
Image captée par le satellite
Lanstat 8 de la NASA

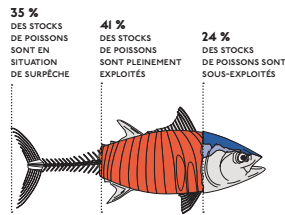


de fascination et d'émerveillement! Les fabuleuses images sous-marines du plongeur Laurent Ballesta participent aujourd'hui à l'émerveillement pour la diversité sous-marine, exposant au grand jour coraux, célanthes et autres espèces inconnues accrochées sous la face immergée des icebergs en Antarctique. La mise en évidence toute récente d'une éponge d'Alaska (*Latrunalia austina*) produisant de puissants anti-tumoraux est tout aussi extraordinaire. En 2005, ce sont les photographies du crabe yéti qui ont fait le tour du monde. La découverte de célanthes vivants au large des Comores avait quant à elle beaucoup fait rêver dans les années 1930. Au-delà de la curiosité qu'elle suscite, la biodiversité océanique est aussi un puits inestimable pour la recherche. La molécule-clé du déclenchement des cancers n'a-t-elle pas été découverte grâce à un oursin et valu un prix Nobel à Timothy Hunt en 2001? Ou encore, la compréhension de la transmission de l'influx nerveux n'a-t-elle pas été permise par les expériences de Alan L. Hodgkin et Andrew Huxley sur un nerf de calmar, 1 000 fois plus grand en section que celui de l'humain? Cela leur valut deux prix Nobel en 1963! Aujourd'hui, plus de 25 000 molécules d'intérêt ont été identifiées à partir de la vie océanique.

De cette biodiversité, les humains se nourrissent depuis des temps ancestraux, certainement des dizaines de milliers d'années. Dès qu'ils sont parvenus sur des rivages, ils ont commencé 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 cela depuis au moins 4 000 ans (Égypte, Chine...). L'exploitation des ressources vivantes aquatiques et renouvelables est actuellement en plein essor, mais les inquiétudes quant à sa durabilité sont sérieuses. Les derniers chiffres disponibles de la FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture), publiés en 2016 pour l'année 2014, donnent des valeurs de 82,5 millions de tonnes (Mt) pour les pêches maritimes, 11,9 Mt pour les pêches continentales, 27,3 Mt pour les algues (dont seulement 1 Mt pour la pêche) et 101,1 Mt pour l'aquaculture (dont 30,3 Mt pour la mer), soit un total, pour tous les groupes et tous les milieux aquatiques, d'environ 195 Mt, pour un revenu de plus de 250 milliards d'euros et plus de 60 millions d'emplois créés. Ces chiffres sont cependant aussi impressionnants que préoccupants, 41 % des stocks étant pleinement exploités ou, pour 35 % d'entre eux, surexploités. Des efforts de meilleure gestion sont en cours. Des travaux ont montré que la surpêche des petits poissons pélagiques pouvait modifier la capacité de l'océan à fixer le CO₂ par surconsommation du phytoplancton par le zooplancton. Pour l'aquaculture, les productions correspondant à des algues (90 % de la consommation mondiale), des mollusques (huîtres, moules, coquilles, palourdes...), des crustacés (crevettes, gambas), et des poissons (saumons, truites, lousps, poissons plats, muges, dorades, sérioles...).

FIG. 3
1/5 DES ESPÈCES EN ÉTAT DE SURPÊCHE EN 2014



HOMME ET OcéAN : UN ÉQUILIBRE INCERTAIN

L'océan est donc un réservoir de richesse biologique encore largement inconnu. L'humain n'a perçu qu'une infime partie des formes, des interactions et des comportements des espèces qui y vivent. Si l'océan joue un rôle essentiel sur l'évolution du vivant et sur la régulation du climat, les pertes en diversité biologique sont aujourd'hui très inquiétantes et sont dues à plusieurs facteurs tels que la destruction des littoraux, la surpêche (fig. 2, fig. 3), la pollution généralisée, la dissémination d'espèces (ballastage des grands navires), le changement climatique, etc.

Diminution du contenu en oxygène (causée par l'augmentation de la température et l'enrichissement en nutriments d'origine terrigène), sur-salinisation côtière (grands fleuves détournés) et changements de la composition chimique de l'eau à cause de la pollution sont également en cours. L'océan profond lui-même est touché. Les zones subantarctiques, à la limite nord de l'océan Austral, sont très concernées par le réchauffement climatique, alors que leur température n'avait pas varié depuis 34 Ma. Le réchauffement de l'Arctique est lui aussi bien réel et de considérables intérêts économiques sont en jeu. La convention de Montego Bay de 1982 régit le droit maritime international mais semble aujourd'hui insuffisante :

À LIRE

Vulnérabilité du système océanique, Gilles Boeuf sous la direction de A. Monaco et P. Prouzet, Hermès, 1876 Éditions, « Collection Mer et Océan », 2014

La biodiversité, de l'océan à la cité, Gilles Boeuf, Fayard, Collège de France, « Leçons inaugurales », 2014

Océan, biodiversité et climat. Fiche pour la Plateforme Océan et climat, ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer et Fondation de France, 2015

L'Homme peut-il accepter ses limites ? Sous la direction de G. Boeuf, B. Swoyghedatou et J.-F. Toussaint, Éditions Quae, 2017

Collectif, L'océan à découvert, coss Éditions, 2017

L'adaptation au changement climatique. Sous la direction de A. Euzen, B. Laville et S. Thiébaud, coss Éditions, 2017

il faut aller plus loin et surtout s'intéresser aussi à la haute mer. Il est indispensable de trouver des accords internationaux durables, de mettre de vastes zones en réserve et surtout de légiférer avant l'exploitation minière massive dans les grands fonds.

Toutes les campagnes océanographiques actuelles en matière d'identification de la biodiversité et de la diversité spécifique marine ne font que confirmer notre méconnaissance de ce milieu, pourtant à l'origine de la vie. L'Homme ne devrait-il pas se souvenir en permanence que son organisme est lui aussi « salé »? Notre propre milieu intérieur est très stable (pression osmotique* de 302 mOsm.l⁻¹, 140 mM de sodium et 105 mM de chlorure dans le sang humain, les éléments essentiels de l'eau de mer) et nous sommes faits d'une eau intermédiaire entre eau de mer et eau douce. Ainsi notre composition interne rappelle celle de l'océan il y a de nombreuses de millions d'années! Il ne tient qu'à nous de retrouver cette harmonie originelle avec l'océan, et de mieux nous intégrer au « système Terre » auquel nous appartenons pleinement. C'est vital pour le futur de l'humanité! <

* GLOSSAIRE

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

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.

Échinoderme : phylum d'animaux invertébrés marins contenant les oursins, les étoiles de mer, les ophiures, les holothuries et les crinoïdes.

Endémisme : fait d'une espèce localisée, vivant uniquement à un seul endroit.

Eucaryote : organisme, unicellulaire ou pluricellulaire, avec des cellules avec noyau : champignons, plantes, animaux...

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

Géodiversité : la diversité des roches et des minéraux.

Métabozoaires : êtres vivants du règne animal.

Pélagique : se dit des espèces vivant dans la colonne d'eau la plus proche de la surface, par opposition aux espèces « benthiques », vivant à proximité du fond.

Phylum : embranchement, au deuxième niveau de la classification des espèces passées et vivantes, correspondant à un schéma d'organisation particulier.

Prébiotique : avant 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 à une solution plus concentrée au travers d'une membrane semi-perméable, utilisée en mer pour mesurer la quantité de sels.

Procaryste : organisme unicellulaire sans noyau (bactérie).

Symbiose : organisme qui vit en symbiose avec un autre, qui ne peut pas s'en passer, par exemple, le corail ou 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 (généralement plus froides et anoxiques et parfois plus salées) dans une masse d'eau (océan, lac).