



30X30

**FEUILLE DE ROUTE
POUR LA PROTECTION
DES OCÉANS**

Comment protéger 30% des océans d'ici à 2030

30x30 : feuille de route pour la protection des océans

Résumé

Callum M. Roberts

PARTIE 1 – Contexte

Richard W. Page

PARTIE 2 - Conception d'un réseau d'aires marines protégées pour la haute mer

Bethan C. O'Leary,[†] Harriet L. Allen,[†] Katherine L. Yates,² Richard W. Page,³ Alexander W. Tudhope,⁴ Colin McClean,¹ Alex D. Rogers,⁵ Julie P. Hawkins,¹ Callum M. Roberts¹

1 Department of Environment and Geography, University of York, York, YO10 5NG, Royaume-Uni

2 School of Environment and Life Sciences, University of Salford, Manchester, M5 4WX, URoyaume-Uni

3 Greenpeace UK, Canonbury Villas, London, N1 2PN, Royaume-Uni

4 School of GeoSciences, University of Edinburgh, Edinburgh, EH9 3FE, Royaume-Uni

5 REV Ocean, Somerville College, University of Oxford, Woodstock Road, Oxford, OX2 6HD, Royaume-Uni

† Ces auteurs ont contribué à parts égales.

Traduit de l'anglais par Maud Combiér et Christelle Taureau pour Greenpeace France.

Remerciements

Le rapport *30x30 : feuille de route pour la protection des océans* repose sur les analyses scientifiques d'une équipe de spécialistes dirigée par le professeur Callum Roberts, en vue de concevoir un réseau d'aires marines protégées en haute mer. Nous remercions l'Atlas for Marine Protection, Global Fishing Watch, Birdlife International et L. Walting pour avoir partagé leurs données, ainsi que K. Boerder qui nous a aidés à accéder à ces données et à les interpréter. Nous tenons également à exprimer notre gratitude à tous ceux qui nous ont accordé un libre accès à leurs données.

Ce rapport a été financé par la fondation allemande Umweltstiftung Greenpeace (Fondation Greenpeace pour l'environnement) qui promeut la protection de l'environnement et de la nature, ainsi que des recherches sur la paix. Cette fondation soutient les campagnes de Greenpeace et d'autres initiatives de protection de l'environnement dans le monde entier.



UMWELTSTIFTUNG | GREENPEACE

SOMMAIRE

3	RÉSULTATS CLÉS	45	Puits naturels de carbone, un service écosystémique vital
5	RÉSUMÉ	49	ÉTAT ACTUEL DES MENACES PESANT SUR LA HAUTE MER
6	Pourquoi la mer est-elle si importante ?	49	La pêche en haute mer
8	La haute mer menacée	54	Exploitation minière en eaux profondes
9	Un traité mondial sur les océans	58	Bioprospection
9	L'importance des réserves marines	58	Changements climatiques
10	L'étude	60	Étude de cas du changement climatique : l'Arctique
10	Les méthodes	61	Impacts des changements climatiques sur les mammifères marins dépendants des glaces
11	Caractéristiques significatives des réseaux	62	Déplacement des populations halieutiques
14	Adapter l'exploitation	63	Zones de minimum d'oxygène
14	Une approche mixte de la conception des réseaux	64	Acidification des océans
15	Conclusion	66	Pollution
18	PARTIE 1 : CONTEXTE	66	Pollution par les hydrocarbures et le transport maritime
19	ENGAGER LA PROTECTION	66	Débris marins et plastiques
19	Des feuilles de route pour la création de réserves marines	67	Pollution sonore
20	Contexte politique et historique	68	Géo-ingénierie
21	Un traité mondial sur les océans pour protéger la biodiversité de la haute mer	69	Conséquences des multiples facteurs de stress
21	Le long chemin jusqu'au nouveau traité mondial sur les océans	71	RÉSERVES MARINES : UN OUTIL CLÉ POUR PRÉSERVER LA SANTÉ DES OCÉANS
21	Étapes clés ayant conduit à l'élaboration d'un instrument international juridiquement contraignant sur la biodiversité marine dans les zones situées au-delà des juridictions nationales	72	AMP - les différents niveaux de protection
23	Objectifs pour la protection marine	73	Bénéfices pour les pêcheries
24	50% de la planète protégée : la proposition du biologiste Wilson	74	Atténuation des changements climatiques et résilience
24	Taux de couverture des aires marines protégées	75	L'importance d'une protection à grande échelle
26	Océan Austral	76	PARTIE 2 : CONCEPTION D'UN RÉSEAU D'AIRES MARINES PROTÉGÉES POUR LA HAUTE MER
27	Protection de la haute mer en Méditerranée - un cas particulier	77	OBJECTIFS ET APERÇU
30	Zones d'importance écologique et biologique (ZIEB)	77	MÉTHODES
31	Autres évaluations régionales visant à recenser les aires de haute importance écologique en haute mer	77	Zones concernées par l'étude
33	LA VIE EN HAUTE MER	77	Procédure utilisée pour la conception d'un réseau d'aires marines protégées assistées par ordinateur
33	Une nouvelle ère pour l'exploration des océans	80	DONNÉES
34	Les différentes zones océaniques	82	RÉSULTATS
34	Zone épipélagique	83	Aires d'importance pour la réalisation des objectifs de conservation
35	Zone mésopélagique	84	Sites clés sélectionnés par Marxan et critères de conservation associés
36	Zone bathypélagique	90	Conception d'un réseau d'AMP en haute mer
38	Plancher océanique/habitats benthiques	91	Désignation et mise en place d'AMP en haute mer
38	Talus continental	93	CONCLUSIONS
38	Canyons sous-marins	94	Références
38	Plaines abyssales		
39	Réseau des dorsales médio-océaniques		
39	Monts sous-marins		
41	Cheminées hydrothermales		
43	SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES		
44	Synthèse des services écosystémiques fournis par la haute mer		

ACRONYMES



ABMT	Outils de gestion appliqués à des aires bien définies (Area-based management tools)
AIFM	Autorité internationale des fonds marins
AIS	Système d'identification automatique par satellite
AMP	Aire marine protégée
ANUP	Accord des Nations unies sur les stocks de poisson
BLM	modificateur de longueur de bordure (Boundary length modifier)
CBI	Commission baleinière internationale
CDB	Convention sur la diversité biologique
CMS	Convention sur les espèces migratoires
CNUDM	Convention des Nations unies sur le droit de la mer
CoML	Recensement de la vie marine (Census of Marine Life)
DCP	Dispositif de concentration de poisson
DSCC	Deep Sea Conservation Coalition
EIE	Étude d'impact environnemental
EMV	Écosystème marin vulnérable
FAO	Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'Agriculture
GTOPP	Programme de marquage mondial des prédateurs pélagiques (Global Tagging of Pelagic Predators)
INN	Pêche illicite, non déclarée et non réglementée
MiCO	Migratory Connectivity in the Ocean
OMI	Organisation maritime internationale
ORGP	Organisation régionale de gestion de la pêche
PCB	Polychlorobiphényles
POP	Polluants organiques persistants
TOPP	Programme de marquage des prédateurs du Pacifique (Tagging of Pacific Predators)
TSM	Température de la surface de la mer
UICN	Union internationale pour la conservation de la nature
WDPA	Base de données mondiale sur les aires protégées (World Database on Protected Areas)
ZEE	Zone économique exclusive
ZIEB	Zone d'importance écologique et biologique
ZIEP	Zone d'intérêt environnemental particulier
ZMO	Zone de minimum d'oxygène

RÉSULTATS CLÉS

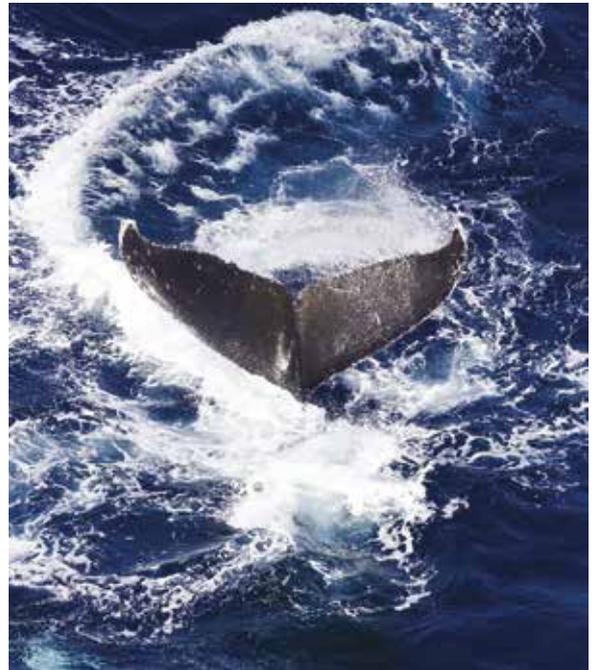
- La haute mer (eaux internationales) représente 43% de la surface du globe et 70% de l'espace vital disponible sur notre planète, terres et mers comprises. Cet immense espace abrite un monde marin complexe doté d'une biodiversité aussi riche que celle des eaux côtières et des zones terrestres.
- Les écosystèmes marins de haute mer sont la pompe biologique des océans : ils captent le dioxyde de carbone en surface et le stockent dans les profondeurs. Sans ce service essentiel, notre atmosphère contiendrait 50% de CO₂ en plus, et la hausse des températures rendrait le monde inhabitable.
- Aujourd'hui, la pêche en haute mer et l'émergence des activités d'exploitation minière en eaux profondes menées par une poignée de pays, riches pour l'essentiel, viennent allonger la liste des menaces pesant déjà sur les océans : changement climatique, acidification, plastiques et autres pollutions, pour ne citer qu'elles.
- La création de réserves marines est donc fondamentale si nous voulons protéger les habitats et les espèces, restaurer la biodiversité des océans, aider les écosystèmes marins à se régénérer et ainsi préserver les biens et services qu'ils fournissent.
- En se dotant d'un traité international juridiquement contraignant visant à protéger la vie et les habitats marins situés au-delà des juridictions nationales, les Nations unies fourniront ainsi aux États parties des bases solides pour créer des réserves marines en haute mer.
- La communauté scientifique appelle à la protection d'au moins 30% des océans de la planète. La présente étude explique comment ce chiffre de 30% pourrait être atteint de sorte à protéger la grande diversité de la faune et de la flore marines présentes en haute mer.
- Pour ce faire, cette étude s'appuie sur des données biologiques, océanographiques, biogéographiques et socioéconomiques telles que la répartition des requins, des baleines, des monts sous-marins, des fosses abyssales, des cheminées hydrothermales, des fronts océaniques, des upwellings, des zones biogéographiques, des pressions exercées par la pêche commerciale, des concessions minières, etc.
- Le processus de création d'un réseau d'aires protégées vise à renforcer la résilience aux changements environnementaux en général et aux incertitudes grâce à : l'adoption d'une stratégie de minimisation des risques pour la sélection des habitats ; une vaste couverture des océans favorisant la connectivité et la création de refuges de dernier recours ; et l'utilisation des données relatives à la température de la surface de la mer (TSM) afin de recenser les endroits susceptibles de changer plus lentement ou de mieux s'adapter au stress engendré par la hausse des températures.
- Les zones fortement fréquentées par les flottes de pêche en haute mer ont été exclues afin de réduire les éventuels impacts sur l'activité halieutique. Un moratoire sur les activités d'exploitation minière en eaux profondes est proposé afin que toutes les possibilités restent ouvertes pendant la création d'un réseau d'aires protégées.
- Les résultats de ce rapport montrent qu'il est tout à fait possible de créer un réseau mondial d'aires marines protégées représentatif sur le plan écologique pour répondre à la crise actuelle à laquelle nos océans doivent faire face et permettre leur restauration. Ce besoin est impérieux et les moyens pour agir d'ores et déjà disponibles. La réalisation de ce projet ne dépend donc que de la volonté politique.



Grand requin blanc
© Ralf Kiefner/Greenpeace

RÉSUMÉ

BIEN AU-DELÀ DES CONFINS DE NOTRE MONDE TERRESTRE, CERTAINES ZONES MARITIMES, COMMUNÉMENT APPELÉES LA HAUTE MER*, NE SONT SOUS L'AUTORITÉ D'AUCUN ÉTAT. DANS L'HISTOIRE DE L'HUMANITÉ, LA HAUTE MER A TOUJOURS ÉTÉ PERÇUE COMME UN TERRITOIRE INVISIBLE, PEUPLÉ DE MONSTRES MARINS IMAGINAIRES ET DE DIEUX EN COLÈRE SURGISSANT DE SON IMMENSITÉ VERTIGINEUSE. APRÈS DES SIÈCLES D'EXPLORATION, CE ROYAUME DE LA PEUR A FINI PAR ÊTRE CARTOGRAPHIÉ, SONDÉ ET EXPLOITÉ PAR DES AVENTURIERS, CHASSEURS, COMMERÇANTS ET SCIENTIFIQUES QUI ONT PERMIS D'EN DÉVOILER CERTAINS SECRETS ET DE METTRE UN TERME À LA TERREUR SUSCITÉE PAR CET ESPACE COLOSSAL.



Baleine à bosse, océan Indien
© Paul Hilton/Greenpeace

La haute mer forme un vaste patrimoine mondial qui représente 61 % de la surface des océans et 73 % de son volume, et qui ne couvre pas moins de 43 % de la surface du globe et 70 % de l'espace vital, terres et mers comprises. Du fait de la vie marine extrêmement riche et des écosystèmes qu'elles abritent, ainsi que de l'immensité de leurs espaces, ces eaux internationales jouent un rôle vital pour l'équilibre de notre planète. Au cours des dernières décennies, toutefois, cette richesse exceptionnelle a diminué comme peau de chagrin sous l'impact croissant des différentes activités humaines. Un constat qui mène aujourd'hui les Nations unies à déployer des efforts sans précédent afin de renforcer les mesures de protection de la haute mer et d'en revoir la gestion.

* Dans cette étude, le terme « haute mer » est employé pour faire référence aux « zones de l'océan situées en dehors de toute juridiction nationale », et englobe les eaux internationales (eaux situées au-delà du périmètre de souveraineté exercée par les pays au large de leurs côtes) ainsi que l'espace y afférent (fonds marins, plancher océanique et sous-sols situés de fait également au-delà de la juridiction nationale). Cela signifie que notre étude prend en compte l'ensemble des habitats de la haute mer, des fonds marins aux eaux de surface.

Pourquoi la haute mer est-elle si importante ?

Pour la plupart d'entre nous, notre seule expérience de la haute mer se résume à une vaste toile bleue aperçue depuis le hublot d'un avion. Une monotonie interrompue çà et là par les quelques points formés par les navires porte-conteneurs ou les dessins laissés par les crêtes blanches des vagues d'une tempête. Mais c'est avant tout le vide qu'évoque le plus souvent pour nous ce bleu outremer.

Ce désert apparent recèle en réalité un monde marin complexe doté d'une biodiversité aussi riche que celle des eaux côtières et des espaces terrestres. En effet, dans les couches supérieures de l'océan, éclairées par la lumière du soleil, certaines zones, comme les fronts océaniques et les zones d'upwellings, sont parcourues de courants qui charrient les nutriments à leur surface, provoquant alors d'importantes efflorescences planctoniques. Cette prolifération de plancton, s'étendant parfois sur des milliers de km² et visible depuis l'espace, constitue le premier maillon de la chaîne alimentaire marine.

Par ailleurs, l'immensité de ces étendues conjuguée à la dispersion des aires d'alimentation et de reproduction amènent de nombreux animaux marins à parcourir de très grandes distances. Baleines, éléphants de mer, thons, marlins, anguilles, requins, tortues, manchots et albatros comptent ainsi parmi les grands nomades de la haute mer qui sillonnent des bassins océaniques entiers et se retrouvent dans certains sites de rassemblement avant de repartir. Les anciens baleiniers furent les premiers à découvrir ces zones de haute concentration biologique en chassant le cachalot dans les upwellings de l'océan Pacifique équatorial, la baleine franche dans les turbulentes zones de partage entre les eaux chaudes de l'Atlantique sud et les eaux froides de l'océan Austral ou encore les baleines à bosse dans la mer de Corail. Aujourd'hui, ce sont les satellites modernes qui permettent de suivre les oiseaux marins, les requins, les phoques et les tortues, et qui contribuent ainsi à approfondir nos connaissances en mettant au jour des autoroutes, des voies migratoires, des oasis ainsi que des déserts océaniques.

Les nutriments présents dans la zone aquatique lumineuse (ou zone euphotique) nourrissent donc un monde de pénombre et d'obscurité s'étendant jusqu'au plancher abyssal – situé à une profondeur comprise entre -4 000 et -6 000 mètres – et au fond des fosses sous-marines, pour certaines plus profondes que l'Himalaya n'est grand. Juste en dessous de cette surface productive, la zone oligophotique, parfois aussi appelée crépusculaire, abrite une étrange ménagerie qui entreprend les plus grandes migrations que connaît le globe. En effet, chaque nuit, profitant de l'obscurité, une immense variété de créatures remontent des profondeurs de l'océan sur plusieurs centaines de mètres pour se nourrir de plancton ou

d'autres animaux dans la zone euphotique, avant de retourner dans les tréfonds marins au petit matin. Parmi les espèces concernées, citons le poisson-lanterne, doté de petits organes luminescents sur le corps, la méduse bioluminescente ou encore le calamar rouge, qui peut avoir la taille d'un thon ou celle d'un grain de raisin et dont le corps ressemble à du verre. Malgré le manque de lumière, ce sont environ 90 % de la masse des réserves halieutiques qui habitent dans ces profondeurs crépusculaires. Leurs migrations verticales quotidiennes – aller se nourrir à la surface et retourner dans les profondeurs pour y faire leurs besoins – contribuent à un phénomène appelé « pompe biologique », une série de processus consistant à capter le carbone de l'atmosphère pour le stocker dans les fonds marins. Sans ces animaux, les concentrations de CO₂ dans l'atmosphère seraient 50 % plus élevées, et la hausse des températures serait intenable.

Encore en dessous, la zone aphotique se caractérise par une obscurité absolue, des températures basses (1 à 2 degrés) et une pression des centaines de fois supérieure à celle de l'atmosphère. Malgré ces conditions extrêmes, des animaux subsistent en se nourrissant de matières organiques ayant coulé vers les fonds marins, ou prolifèrent contre toute attente en abondance autour de colonnes d'eau chaude de plusieurs centaines de degrés. Dans cette obscurité glaciale, les poissons peuvent vivre des centaines d'années et les coraux, plus d'un millénaire. Or, si jusqu'à récemment, ce monde fragile est resté méconnu, bien loin de l'influence humaine et de ses répercussions, les choses sont aujourd'hui en train de changer et même les endroits les plus reculés et les plus profonds des océans sont désormais menacés. Des activités telles que le chalutage de fond détruisent les habitats avant même que nous ayons eu l'occasion de les explorer et de les comprendre.

“ SANS CES ANIMAUX, LES CONCENTRATIONS DE CO₂ DANS L'ATMOSPHÈRE SÉRAIENT 50 % PLUS ÉLEVÉES, ET LA HAUSSE DES TEMPÉRATURES SÉRAIT INTENABLE.”



Méduse à crinière de lion,
océan Austral
© Alexander Semenov



Chalutier en eaux profondes, mer de Tasman
© Roger Grace/Greenpeace

La haute mer menacée

De tous temps, des individus sont partis en quête d'une renommée, de pouvoir ou de richesses aux confins du monde connu, attirés par ces no man's lands où l'absence de lois permet de se servir sans avoir à rendre de comptes. Sur les terres, la plupart des frontières sont établies et pacifiées depuis longtemps, et les libertés encadrées par la loi. Mais au-delà des juridictions nationales se trouve la dernière frontière de la planète : la haute mer, un univers de quasi non-droit, objet d'une piètre gouvernance où le pillage ne connaît aucune restriction ou presque. En effet, sous couvert des libertés que leur confère la Convention des Nations unies sur le droit de la mer (CNUDM), quelques nations, riches pour la plupart, exploitent la vie marine à la recherche de profits. Or, cette même convention suppose des devoirs qui, jusqu'ici, ont largement été ignorés : préserver les ressources marines et protéger le milieu marin, notamment les écosystèmes et les habitats rares et fragiles.

Ces négligences en matière de gestion, associées à l'opportunisme et à la cupidité, ont conduit à mettre à mal la haute mer et les espèces qu'elle abrite. Ainsi, en l'espace de quelques décennies seulement, nombre de nos espèces les plus emblématiques comme l'albatros, les tortues ou encore les requins ont connu un déclin considérable tandis que de nombreux habitats des eaux profondes comme les coraux d'eaux froides et les champs d'éponges, vieux parfois de plusieurs siècles, ont été détruits par les lourds filets de pêche raclant les fonds marins. Même certaines espèces supposées être sous étroite surveillance ont vu leurs stocks reculer, une situation pointant du doigt l'échec des organisations chargées de surveiller les activités d'exploitation à s'acquitter de leur mandat, pourtant limité. À titre d'exemple, les populations de thon rouge du Pacifique se sont effondrées pour se situer à moins de 3% de leur niveau historique d'abondance. Et pourtant, malgré l'état d'épuisement des réserves, ce poisson continue d'être pêché. Les ressources, qui sont un bien commun planétaire, sont ainsi dilapidées en dehors de tout principe de précaution.

La pêche est la plus ancienne et l'une des plus grandes menaces humaines pesant sur la vie marine, avec le réchauffement climatique, l'acidification et la désoxygénation des océans, le transport maritime, le bruit, le plastique, la pollution chimique et l'exploitation minière en eaux profondes. L'accumulation de ces menaces a entraîné un déferlement de pressions sur la biodiversité marine contre lesquelles il est impossible de lutter isolément, et qui ne peuvent être traitées de manière idoine par les entités responsables de la gouvernance de la haute mer.

“ LA MULTIPLICATION DES MENACES PESANT SUR LES OCÉANS ET DES INQUIÉTUDES DEVANT L'INEFFICACITÉ ET LA FRAGMENTATION DE LA GOUVERNANCE DE LA HAUTE MER A FINALEMENT OUVERT LA VOIE À UNE OCCASION UNIQUE DE PROTÉGER LA BIODIVERSITÉ DANS LES EAUX INTERNATIONALES.”



Thons rouges
© Gavin Newman/Greenpeace



Sternes arctiques
© Bernd Roemmelt/
Greenpeace

Un traité mondial sur les océans

Devant le constat du déclin continu de la biodiversité, de l'augmentation croissante des impacts de l'activité humaine et de l'approche fragmentée de la gestion des océans due à l'absence durable d'une gouvernance mondiale efficace, les dirigeants planétaires ont, sous l'égide des Nations unies, convoqué une Conférence intergouvernementale sur la biodiversité marine des zones ne relevant pas de la juridiction nationale. L'objectif de cette conférence est de négocier un instrument juridiquement contraignant pour la protection de la biodiversité marine dans les eaux situées en dehors des juridictions nationales. Le premier des quatre cycles de négociations programmés jusqu'en 2020 s'est tenu en septembre 2018.

Parmi les problématiques abordées durant les négociations, citons l'obligation de réaliser des études d'impact environnemental approfondies avant tout projet d'exploitation en haute mer, le renforcement des capacités de gestion et de conservation des ressources marines, le partage mondial des bénéfices tirés des ressources génétiques marines et l'utilisation d'outils de gestion appropriés à la zone concernée, comme des aires marines protégées. Concernant ces dernières, la Conférence intergouvernementale devra, lors de ses délibérations, étudier la manière d'élaborer des mesures de conservation permettant de respecter les obligations internationales édictées par la CNUDM concernant la protection du milieu marin de la haute mer. Elle devra également créer un dispositif permettant de combler les lacunes béantes des dispositions de la Convention sur la diversité biologique (CDB). En effet, cette dernière, qui a pour vocation de protéger la faune et la flore sauvages mondiales, ne peut être appliquée par les pays que sur leurs propres territoires ou sur les navires naviguant sous leur pavillon, laissant environ la moitié de la surface planétaire sans protection.

L'importance des réserves marines

La multiplication des menaces pesant sur les océans et des inquiétudes devant l'inefficacité et la fragmentation de la gouvernance de la haute mer a finalement ouvert la voie à une occasion unique de protéger la biodiversité dans les eaux internationales : l'ouverture de négociations onusiennes sur la protection des eaux internationales. Ce rapport, qui explore le potentiel des aires marines protégées (AMP) en haute mer et leur mise en place, a pour objectif d'appuyer ces négociations en leur fournissant des éléments de contexte.

La valeur des AMP, en particulier des réserves marines entièrement protégées, en tant que dispositif clé pour protéger les habitats et les espèces, restaurer la biodiversité des océans, aider les écosystèmes marins à se régénérer et préserver les services écosystémiques vitaux pour l'être humain, est largement reconnue et expressément mentionnée dans l'objectif de développement durable n° 14 des Nations unies ainsi que dans l'objectif d'Aichi n° 11 du Plan stratégique pour la diversité biologique 2011-2020 découlant de la CDB. Par ailleurs, la communauté scientifique appelle à protéger intégralement au moins 30% des océans d'ici à 2030, un appel approuvé par voie de résolution lors du Congrès mondial de la nature de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) en 2016. Aussi, l'aboutissement des négociations de la Conférence intergouvernementale des Nations unies est-il indispensable si nous voulons qu'un réseau d'aires marines protégées voie le jour et soit respecté et géré de manière efficace.

L'étude

Afin d'éclairer le débat et de définir plus précisément le projet de création d'un réseau d'aires marines protégées en haute mer, un groupe de scientifiques dirigé par des spécialistes de l'Université de York, au Royaume-Uni, a entrepris un exercice de planification systématique de la conservation. Leurs recherches, synthétisées ci-dessous, font l'objet d'une description détaillée dans un article actuellement sous presse ainsi que dans la partie technique de ce rapport.

Préserver l'intégralité de la vie marine suppose de mettre en place des AMP au sein d'un réseau représentatif de tous les habitats et espèces présents dans une région donnée. Si des AMP isolées peuvent être créées sur le seul fondement d'informations locales, la conception d'un réseau de zones protégées nécessite une planification systématique assistée par ordinateur. En effet, le nombre de configurations possibles pour un réseau de réserves atteint rapidement des chiffres d'une complexité extrême, impossible à appréhender par le cerveau humain, à mesure que le nombre de critères de conservation et de localisations augmente. Par chance, il existe des méthodes éprouvées de planification systématique de la conservation assistée par ordinateur, approche que nous avons retenue ici.

“ CES NOUVELLES PRATIQUES DE CONSERVATION DOIVENT ÉGALEMENT ÊTRE PERÇUES À LA LUMIÈRE DU FAIT QUE CETTE PROTECTION EFFICACE BÉNÉFICIERA À L'HUMANITÉ DANS SON ENSEMBLE, TANDIS QUE SEULE UNE POIGNÉE DE PAYS RICHES PROFITENT AUJOURD'HUI POUR L'ESSENTIEL DE L'EXPLOITATION DES RESSOURCES EN HAUTE MER. ”

Les méthodes

Afin d'examiner les options à notre disposition pour protéger la haute mer, nous avons eu recours à un logiciel de conception de réseaux d'AMP très utilisé, Marxan. Il permet de représenter une proportion donnée de l'étendue spatiale de tous les critères de conservation intégrés (par ex. la répartition des espèces ou des habitats ou les variables de ces données, notamment les conditions environnementales telles que la profondeur et la température des eaux de surface), tout en minimisant la taille du réseau et les coûts socioéconomiques.

Pour développer le réseau, nous avons divisé la haute mer en près de 25 000 unités de planification, chacune étant un carré de cent kilomètres de côté (10 000 km²). Nous avons ensuite rassemblé des données biologiques, océanographiques, biogéographiques et socioéconomiques à jour et issues du monde entier, telles que la répartition des requins, baleines, monts sous-marins et fosses abyssales, cheminées hydrothermales, fronts océaniques, upwellings, zones biogéographiques, pressions exercées par la pêche commerciale, concessions minières, etc., et nous les avons cartographiées dans un Système d'Information Géographique. Chaque unité de planification s'est vu attribuer une valeur numérique, calculée en fonction de la superficie totale associée à chaque critère de conservation présent dans cette unité de planification, avant d'être importée dans Marxan. Puis nous avons fait tourner le programme des centaines de fois afin d'obtenir des réseaux qui, pour chaque jeu de données, atteignaient les objectifs tout en minimisant les coûts.

Nous avons examiné deux niveaux cibles de protection : 30 % et 50 % de couverture pour chacun des 458 critères de conservation. Ces chiffres ont été retenus car ils ont fait l'objet de longues discussions en vue de définir les cibles à atteindre par les futurs objectifs mondiaux de conservation à la suite de l'échéance de l'objectif de développement durable n° 14 et de l'objectif de la CDB visant la protection de 10 % des océans d'ici 2020. Les sites déjà protégés ont été verrouillés dans les analyses (« locked in » dans Marxan), tandis que ceux pressentis pour l'exploitation minière en eaux profondes ont été exclus (« locked out ») de certaines.

En générant un choix de centaines de réseaux optimisés, Marxan aide à recenser ceux qui remplissent le plus efficacement les critères fixés tout en permettant aux planificateurs d'intégrer des contraintes ainsi que les contributions des parties prenantes. Les modélisations qui en découlent ne sont nullement définitives, mais présentent certaines des solutions possibles. En effet, certains facteurs non pris en compte dans les couches de données saisies, tels que certaines considérations socioéconomiques ou connaissances spécialisées, auront aussi une incidence sur les désignations. Ainsi Marxan constitue-t-il un outil d'aide à la prise de décision, et non un outil de prise de décision.

a) Couverture de 30% des critères de conservation



b) Couverture de 50% des critères de conservation



Figure 1 : Exemple de réseaux d'AMP pour une couverture de (a) 30% et (b) 50% de chaque critère de conservation avec inclusion/exclusion des unités de gestion existantes, tiré des « meilleures » solutions recensées par Marxan.

La figure 1 présente les réseaux les plus efficaces parmi les 200 analyses de Marxan pour les scénarios de protection à 30% et à 50%. Ces réseaux incluent des AMP de haute mer dans l'océan Austral et l'océan Atlantique nord, ainsi que des écosystèmes marins vulnérables (EMV) interdits à la pêche par des organisations régionales de gestion des pêches (ORGP), et des zones d'intérêt environnemental particulier établies dans l'océan Pacifique par l'Autorité internationale des fonds marins pour protéger les habitats typiques de l'exploitation minière en eaux profondes. Nous avons également appliqué une dimension « coût » en vue de limiter la sélection de zones fortement fréquentées par les flottes de pêche en haute mer, réduisant ainsi les éventuels impacts sur l'activité halieutique, ce qui en retour exige une amélioration considérable de la gestion par les ORGP.

Caractéristiques significatives des réseaux

Les analyses ont généré des modèles de réseaux d'AMP bien répartis du pôle nord au pôle sud et à travers tous les océans de la planète, englobant l'intégralité des habitats, espèces et conditions environnementales spécifiés. Cependant, si ces résultats démontrent qu'il est possible de créer des réseaux sur le fondement d'informations existantes, ces modèles ne constituent pas des propositions de protection spécifiques.

Lorsque nous avons fixé les objectifs en matière de niveaux de couverture, nous nous sommes alignés sur la résolution du Congrès mondial de la nature de 2016 selon laquelle les réseaux d'AMP « doivent abriter au moins 30% de chaque habitat marin ». Toutefois, comme l'indiquent nos résultats, il est impossible d'atteindre cet objectif dans la pratique en protégeant seulement 30% de la haute mer : les réseaux qui ont atteint l'objectif de 30% couvraient en surface 35 à 40% de la haute mer, tandis que ceux atteignant l'objectif de 50% en couvraient 55 à 60%.

La poursuite de ces objectifs de couverture, ambitieux mais justifiés d'un point de vue scientifique, a engendré un résultat inédit. Selon le paradigme de conservation qui prévaut sur terre et dans les régions côtières, les aires protégées constituent des réserves isolées au milieu de zones influencées et menacées par l'activité humaine. Nos réseaux de haute mer sont différents, car ils génèrent des filets de protection interconnectés intégrant des zones impactées par les activités humaines. Dans bien des cas, ces filets de sécurité couvrent des bassins océaniques entiers et sont parfaitement adaptés à la sauvegarde des espèces extrêmement mobiles et migratoires qui peuplent la haute mer. Ces nouvelles pratiques de conservation doivent également être perçues à la lumière du fait que cette protection efficace bénéficiera à l'humanité dans son ensemble tandis que seule une poignée de pays riches profitent aujourd'hui pour l'essentiel de l'exploitation des ressources en haute mer.

Mettre en place un dispositif de protection de si grande envergure présente en outre d'autres intérêts, en particulier celui de renforcer la résilience des océans face à des conditions environnementales qui évoluent rapidement. Car aujourd'hui, la rapidité et la diversité des changements environnementaux, inédites dans l'histoire de l'humanité, engendrent des modifications dans l'aire et la profondeur de répartition des espèces, et de fait augmentent fortement la probabilité de voir les écosystèmes se restructurer différemment et d'assister à d'autres conséquences encore inconnues. Par conséquent, concevoir des réseaux d'aires protégées en se fondant sur les conditions actuelles risque de mener à des échecs futurs.

En effet, les réseaux d'aires protégées doivent continuer à remplir leur fonction de protection, indépendamment de ce que l'avenir nous réserve. Face aux incertitudes, les investisseurs constituent des portefeuilles pour répartir les risques. Les réseaux d'AMP doivent faire de même. Notre méthode de conception de réseaux tient donc compte du changement climatique et de l'incertitude de trois manières différentes : (1) par la constitution d'un « portefeuille » de protection (c'est-à-dire la représentation d'un éventail d'habitats, de sites et de conditions environnementales à travers les océans du monde entier), pour minimiser les risques ; (2) par l'adoption d'une couverture large qui promeut la connectivité, les sites d'étape, les corridors de déplacement et les refuges de dernier recours ; et (3) par l'utilisation novatrice des données historiques des températures de surface de la mer. Dans cette nouvelle approche de la résilience au changement climatique, nous avons décelé deux types d'aires devant faire l'objet d'une protection étroite : les endroits où l'amplitude thermique est naturellement importante, indiquant la possible présence d'écosystèmes résilients par nature aux futurs changements climatiques car les espèces qui y vivent sont adaptées aux fluctuations ; et les endroits à faible variation, où le changement sera potentiellement plus lent, et dont les écosystèmes disposeront de davantage de temps pour s'adapter. Ensemble, ces principes de conception des réseaux augmentent la probabilité de survie et d'adaptation des espèces et des écosystèmes face au changement climatique mondial.



Jeune tortue luth
en Guyane Française
© Jacques Fretey/Greenpeace

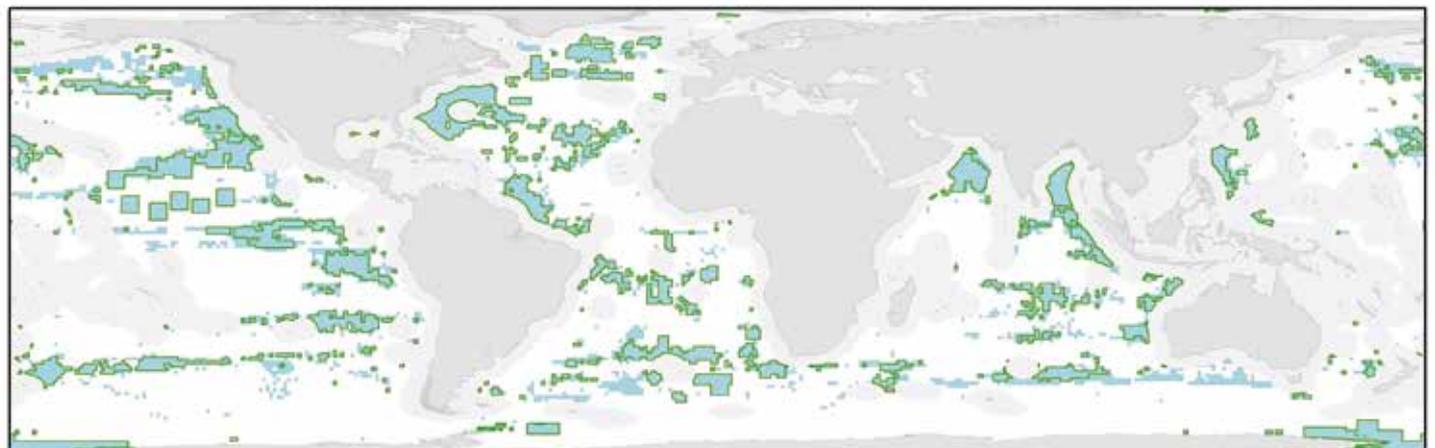


Requin et poissons dans les eaux
internationales de l'océan Pacifique
© Alex Hofford/Greenpeace

Adapter l'exploitation

La pêche hauturière représente seulement 4,2% des captures annuelles en mer, et seuls les pays riches et les grands groupes industriels exploitent les ressources de ces eaux internationales. Néanmoins, certaines activités de pêche en haute mer, comme la pêche au thon, ont une incidence significative au niveau mondial. La mise en place d'un réseau de réserves marines déplacera certes l'effort de pêche, mais les répercussions d'un tel déplacement en haute mer seront probablement moindres que dans les zones côtières, les bateaux parcourant déjà de très grandes distances jusqu'aux lieux de pêche ; ainsi, la modification de leurs itinéraires pourrait ne pas avoir d'incidence sur le temps ou le coût de transport. Toutefois, ces déplacements pourraient obliger les pêcheurs à quitter des zones à fort rendement pour des zones à rendement moins élevé. Afin de réduire les éventuels impacts socioéconomiques négatifs, l'effort de pêche a été intégré (à l'aide de données en libre accès sur globalfishingwatch.org concernant la pêche au chalut de fond, à la senne coulissante et à la palangre) en tant que coût dans le développement des modèles de réseaux. Les réseaux ainsi conçus ne déplaçaient que 20 à 30% environ de l'effort de pêche existant, apportant la preuve que des réseaux représentatifs de la biodiversité peuvent être conçus tout en limitant l'impact économique. Une grande partie des coûts relatifs à leur mise en place sera quoiqu'il en soit compensée par les bénéfices tirés de cette protection, tels que la reconstitution des réserves halieutiques et l'amélioration de la santé des écosystèmes.

Figure 2 : Aires d'importance (fréquence de sélection de chaque unité de planification >75%) pour une couverture de 30% (aires au contour vert) et 50% (aires en bleu sans contour) de tous les critères de conservation avec inclusion/exclusion des unités de gestion existantes. Les résultats se fondent sur 200 analyses réalisées par Marxan pour chaque scénario.



En outre, les activités d'exploitation minière en eaux profondes qui s'amorcent depuis peu auront des conséquences inévitables sur les écosystèmes fragiles des grands fonds marins. D'immenses étendues de fonds marins font désormais l'objet de licences de prospection minière, dont une grande partie, comme le montre notre étude, se trouve dans des zones de grande valeur en termes de biodiversité. Or, exclure ces zones des éventuels réseaux d'AMP diminuerait sérieusement notre capacité à représenter la faune et la flore marines et les fonctions écosystémiques se situant au-delà des juridictions nationales, et saperait en conséquence les efforts que nous déployons pour protéger la biodiversité. La mise en place d'un moratoire sur l'exploitation minière en eaux profondes permettrait de garantir que toutes les options en matière de protection restent ouvertes pendant la création d'un réseau d'AMP en haute mer.

Une approche mixte de la conception des réseaux

Certains sites bien connus pour la richesse de leur biodiversité, tels que l'upwelling du Dôme du Costa Rica ou le « White Shark Café » dans l'est du Pacifique, ne sont pas toujours apparus dans les exemples de réseaux générés par nos analyses. Cela s'explique principalement par le fait que nos couches de données indiquaient la présence d'espèces ou de critères, et non l'intensité de l'usage qui en était fait par ces espèces. Ce type d'endroits, réputés pour être des sites de concentration de biodiversité d'une importance cruciale, invite à opter pour l'élaboration d'un mode de sélection mixte combinant une approche ascendante de la sélection de sites, fondée sur une connaissance du terrain, la contribution des parties prenantes, et une planification systématique coordonnée de haut niveau.



Filets de pêche fantômes
dans le grand vortex
de déchets du Pacifique
© Justin Hofman/
Greenpeace

**“ POUR ÉVITER CETTE
CRISE IMMINENTE,
IL EST CRUCIAL DE
METTRE EN PLACE UNE
PROTECTION EFFICACE
À UNE ÉCHELLE ADAPTÉE,
ET CE DE TOUTE URGENCE.”**

La planification systématique utilisée ici s'inscrit en complément de connaissances de terrain, ce qui permet d'attirer l'attention sur des zones qui auraient pu être omises mais qui présentent pourtant une grande importance pour la conception des réseaux. La figure 2 illustre les unités de planification sélectionnées pour faire partie des réseaux d'AMP dans plus de 75 % des analyses réalisées par le logiciel, soulignant de ce fait leur importance pour atteindre les objectifs de conservation que nous avons fixés dans la limite des contraintes imposées. Ces sites, qui feront immanquablement l'objet d'une recherche ciblée permettant de mieux comprendre la valeur de leur biodiversité, pourraient constituer des noyaux autour desquels former des AMP.

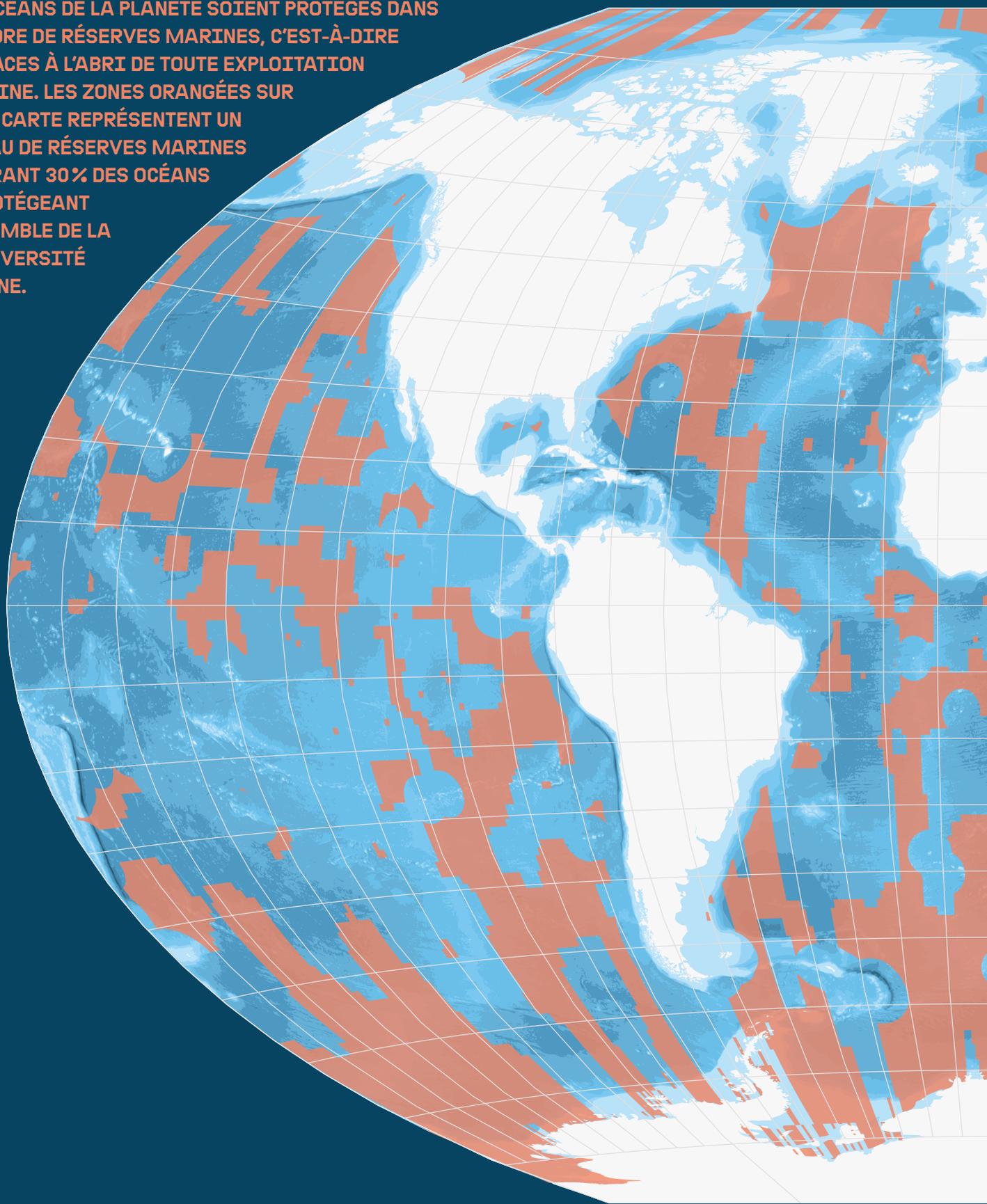
Conclusion

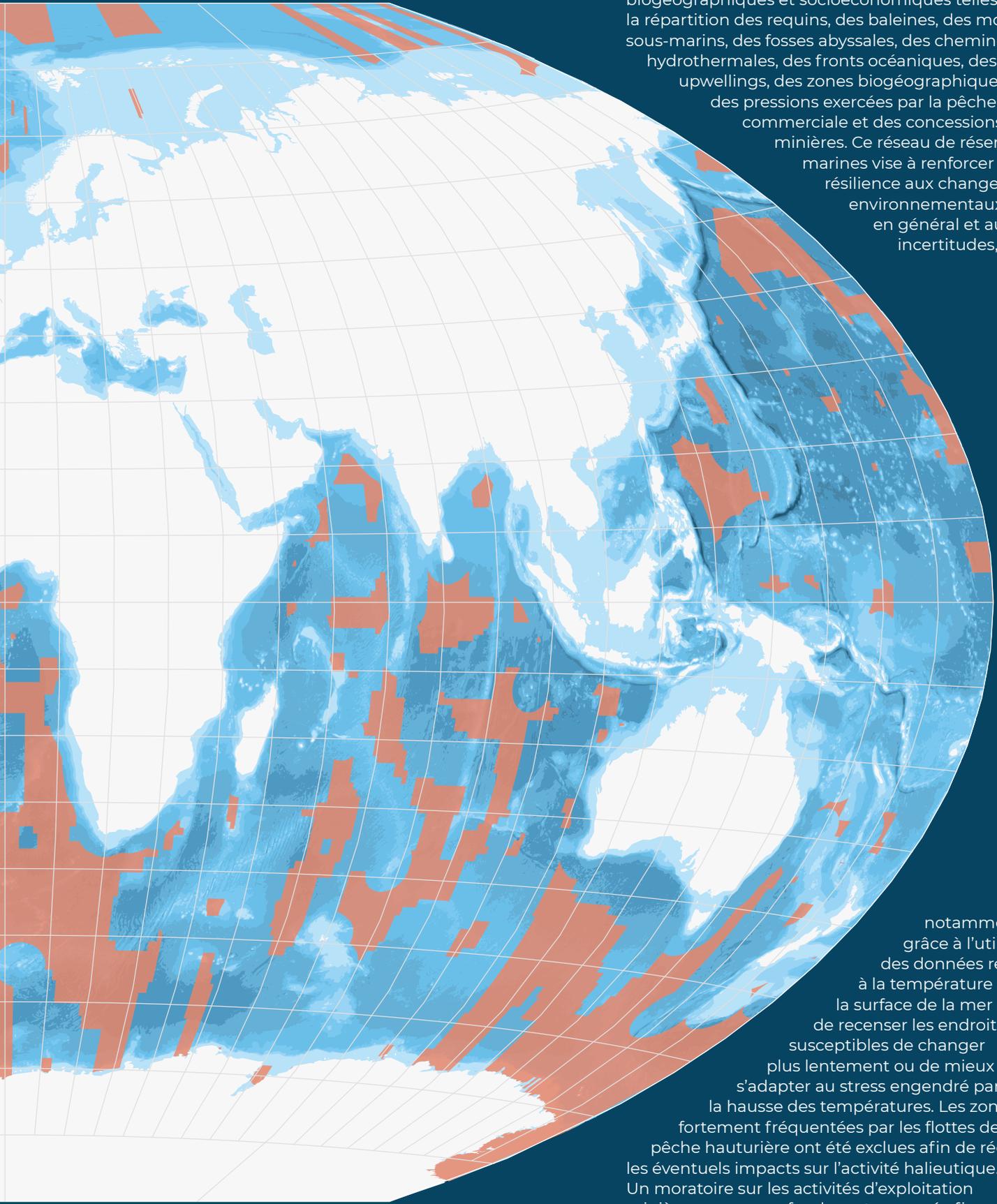
La pression croissante exercée par les activités humaines sur la haute mer a entraîné un déclin rapide et inquiétant de sa biodiversité et une dégradation de ses habitats. Outre le préjudice causé à la vie marine, cette pression compromet également la capacité de la haute mer à fournir des services écosystémiques vitaux pour tous, un problème qui sera davantage exacerbé par le changement climatique. Aussi, pour éviter cette crise imminente, il est crucial de mettre en place une protection efficace à une échelle adaptée, et ce de toute urgence.

Nos analyses prouvent qu'il est possible d'utiliser les données disponibles, qui sont toujours plus complexes et dont la résolution spatiale est de plus en plus fine, pour concevoir en haute mer un réseau mondial d'aires protégées, représentatif d'un point de vue écologique. En outre, la planification systématique de la conservation constitue un outil clé pour éclairer les décisions de planification de manière économique, transparente et raisonnée. Toutefois, la difficulté de la tâche et les impératifs économiques pointent du doigt la nécessité d'adopter un dispositif mondial où les États seraient collectivement responsables de la désignation de réserves marines et de la mise en œuvre de mesures concrètes pour en assurer la protection. Cela suppose que les organes désignés pour ce faire travaillent avec les structures de gouvernance existantes aux niveaux mondial et régional ainsi qu'avec d'autres parties prenantes, et adoptent une approche mixte associant désignation de sites spécifiques et planification systématique, afin d'apporter une protection globale à la faune et à la flore sauvages des eaux internationales.

À QUOI POURRAIT RESSEMBLER LA PROTECTION DE 30% DES OCÉANS ?

LES SCIENTIFIQUES DEMANDENT QU'AU MOINS 30% DES OCÉANS DE LA PLANÈTE SOIENT PROTÉGÉS DANS LE CADRE DE RÉSERVES MARINES, C'EST-À-DIRE D'ESPACES À L'ABRI DE TOUTE EXPLOITATION HUMAINE. LES ZONES ORANGÉES SUR CETTE CARTE REPRÉSENTENT UN RÉSEAU DE RÉSERVES MARINES COUVRANT 30% DES OCÉANS ET PROTÉGEANT L'ENSEMBLE DE LA BIODIVERSITÉ MARINE.





Ce scénario de protection a été élaboré à partir de données biologiques, océanographiques, biogéographiques et socioéconomiques telles que la répartition des requins, des baleines, des monts sous-marins, des fosses abyssales, des cheminées hydrothermales, des fronts océaniques, des upwellings, des zones biogéographiques, des pressions exercées par la pêche commerciale et des concessions minières. Ce réseau de réserves marines vise à renforcer la résilience aux changements environnementaux en général et aux incertitudes,

notamment grâce à l'utilisation des données relatives à la température de la surface de la mer afin de recenser les endroits susceptibles de changer plus lentement ou de mieux s'adapter au stress engendré par la hausse des températures. Les zones fortement fréquentées par les flottes de pêche hauturière ont été exclues afin de réduire les éventuels impacts sur l'activité halieutique. Un moratoire sur les activités d'exploitation minière en eaux profondes est proposé afin que toutes les possibilités restent ouvertes pendant la création d'un réseau de réserves marines.



1

CONTEXTE

ENGAGER LA PROTECTION

Des feuilles de route pour la création de réserves marines

La première « feuille de route » pour les océans de Greenpeace a été présentée en 2006 lors de la 8^e Convention sur la diversité biologique à Curitiba, au Brésil¹. Cette convention marque le déploiement des tous premiers efforts scientifiques visant à recenser les potentielles aires qui permettraient ensuite de constituer un réseau mondial représentatif de réserves marines hautement protégées en haute mer – c'est-à-dire dans les zones de l'océan ne relevant d'aucune juridiction nationale. Ce travail de longue haleine a été réalisé par une équipe de scientifiques de l'Université de York (dirigée par le professeur Callum Roberts) en collaboration avec Greenpeace. Pour concevoir ce réseau, les scientifiques se sont appuyés d'une part sur un vaste éventail de jeux de données, et d'autre part sur certains principes scientifiques fondamentaux relatifs aux réserves marines. Ils ont par ailleurs eu recours au logiciel informatique Marxan, dont les modélisations ont été complétées par les connaissances des experts.

Cette première feuille de route fournissait en outre des éléments de contexte quant à la nécessité d'un réseau de réserves marines et présentait notamment une synthèse des menaces pesant sur les océans ainsi que des lacunes caractérisant la gouvernance de la haute mer.

Les principales avancées de ce premier rapport ont notamment consisté à :

- utiliser des critères d'identification des aires marines protégées (AMP) repris par la suite en grande partie par la Convention sur la diversité biologique (CDB) ;
- réfuter l'argument selon lequel les données scientifiques actuelles seraient insuffisantes pour identifier des aires prioritaires de protection en haute mer ;
- anticiper la nécessité pour les Nations unies d'élaborer un nouveau traité afin de protéger la faune et la flore marines dans les eaux internationales, et en particulier de créer un nouveau dispositif pour mettre en place des réserves marines en haute mer ;
- mettre en avant la différence qualitative existant entre des réserves marines hautement protégées et d'autres formes de protection des océans ;
- souligner la nécessité de protéger environ 40% de la haute mer.

Le réseau d'aires protégées présenté dans cette première étude est resté ouvert à modification au fur et à mesure que de nouvelles données plus précises sont devenues disponibles. Depuis sa publication, beaucoup de choses se sont concrétisées, et le soutien international pour la protection des océans s'est accru. Ainsi, des négociations internationales ont lieu à l'heure actuelle pour élaborer un traité mondial sur les océans visant à protéger la biodiversité de la haute mer². Désireuse d'éclairer ce débat, Greenpeace a financé une nouvelle feuille de route pour la protection des océans (*30x30 : feuille de route pour la protection des océans – Comment protéger 30% des océans d'ici à 2030*) afin de mettre à jour son précédent rapport à l'aide de nouveaux travaux menés une fois encore par l'Université de York, sous la direction du professeur Callum Roberts.



© UN Photo/Evan Schneider

Contexte politique et historique

La haute mer et les fonds marins correspondent à des zones de l'océan ne relevant d'aucune juridiction nationale : elles se situent au-delà du périmètre de souveraineté exercée par les pays au large de leurs côtes. Ces eaux internationales représentent 61 % de la surface totale des océans. Pourtant, malgré l'importance capitale de ses écosystèmes du point de vue biologique et leur valeur inestimable pour l'humanité, la haute mer ne bénéficie d'aucune protection ou presque. En effet, aucun cadre mondial ne protège la biodiversité marine dans les eaux internationales et les quelques aires marines protégées (AMP) situées en haute mer sont le résultat de conventions régionales, des accords dont la portée varie

fortement en raison des disparités existant entre les différentes législations et normes dont ils dépendent³. À titre d'exemple, l'établissement des AMP dans l'Atlantique nord-est ainsi que l'élaboration de mesures de gestion idoines se sont avérés complexes et illustrent parfaitement les lacunes dont souffre le régime actuel de gouvernance de la haute mer, ainsi que la nécessité de créer un cadre davantage intégré⁴. Il convient par ailleurs de noter que les conventions régionales relatives aux océans ne couvrent qu'une infime partie de la haute mer et qu'à l'heure actuelle, dans la plupart des zones située en dehors de toute juridiction nationale, aucun dispositif n'a été mis en place pour créer des AMP, et encore moins pour les gérer de façon efficace.

Un traité mondial sur les océans pour protéger la biodiversité de la haute mer

Après plus d'une décennie d'efforts concertés de la part d'une multitude d'acteurs internationaux, les États membres de l'ONU se sont entendus en 2015 pour élaborer un accord juridiquement contraignant en vue de conserver la vie marine se trouvant au-delà des eaux territoriales, et notamment un cadre pour l'établissement d'AMP^{5,6}.

Ce traité mondial sur les océans pourra ainsi permettre la création, dans les eaux internationales, d'un réseau mondial d'AMP et en particulier de réserves marines hautement protégées, ainsi que l'élaboration de règles mondiales pour les études d'impact environnemental (EIE) de sorte à prévenir les activités humaines ayant des conséquences néfastes sur la faune et la flore marines. Il s'agit là d'une occasion inédite de modifier la gouvernance des océans pour passer d'un système principalement pensé pour favoriser les droits de la pêche et l'exploitation minière à un dispositif plaçant la conservation et l'utilisation durable des fragiles ressources océaniques au cœur de ses objectifs. Un tel accord intégrant des mesures de conservation de la vie marine en haute mer à une si vaste échelle n'avait pas été conclu par les Nations unies depuis l'Accord de 1995 sur les stocks de poissons.

Le long chemin jusqu'au nouveau traité mondial sur les océans

De telles négociations en vue d'adopter un traité mondial sur les océans ont pu voir le jour grâce à l'aboutissement de multiples processus et aux efforts considérables de nombreux gouvernements, ONG et individus ayant joué un rôle actif dans de nombreux forums. L'amélioration des connaissances sur la valeur des océans, et en particulier de la haute mer, et des bénéfices qu'ils apportent à l'humanité, la nécessité de respecter les engagements existants relatifs à la mise en place des AMP, la reconnaissance des lacunes du système de gouvernance actuel ainsi que le renforcement massif du soutien de la population en faveur de la protection des océans sont autant de facteurs ayant contribué à créer cette dynamique.

Le tableau ci-dessous fournit une chronologie des étapes politiques clés ayant conduit aux négociations à l'ONU.

Étapes clés ayant conduit à l'élaboration d'un instrument international juridiquement contraignant sur la biodiversité marine dans les zones situées au-delà des juridictions nationales

Année	Forum	Principales réalisations
2002	Processus consultatif informel des Nations unies ouvert à tous sur les océans et le droit de la mer (PCI)	Discussions sur la protection du milieu marin.
2004	PCI	Création d'un groupe de travail spécial informel chargé d'étudier les problématiques relatives à la conservation et à l'exploitation durable de la biodiversité marine des zones ne relevant d'aucune juridiction nationale.
2006	Groupe de travail spécial informel chargé d'étudier les questions relatives à la conservation et à l'exploitation durable de la biodiversité marine des zones ne relevant d'aucune juridiction nationale (ci-après le « Groupe de travail »).	Première réunion et appel à l'action afin de remédier aux lacunes en matière de gouvernance.
2006	Assemblée générale des Nations unies (AGNU)	Adoption de la résolution 61/105 sur la pêche de fonds dans les zones ne relevant d'aucune juridiction nationale.
2008	Groupe de travail	Reconnaissance de l'urgence de la discussion sur l'établissement d'un nouvel accord de mise en œuvre.

Année	Forum	Principales réalisations
2010	Groupe de travail	Appel à des avancées dans la définition du régime juridique de l'accord.
2010	Convention sur la diversité biologique (CDB)	Dans le cadre de la COP10, définition des objectifs d'Aichi et appel à un processus accéléré de protection de la haute mer.
2011	Groupe de travail	Réunion décisive au cours de laquelle un accord est conclu concernant une série d'éléments du processus de protection de la haute mer.
2012	Conférence Rio+20 sur le développement durable à Rio de Janeiro	Le document « L'avenir que nous voulons » engage les États à répondre aux « problématiques de conservation et d'exploitation durable de la biodiversité marine dans les zones ne relevant d'aucune juridiction nationale, notamment en prenant une décision quant à l'élaboration d'un accord international en vertu de la Convention des Nations unies sur le droit de la mer (CNUDM) », avant septembre 2015.
2013	Groupe de travail	Organisation d'ateliers inter-sessions.
2013	Groupe de travail	Deux rencontres.
2014	Congrès de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN)	La Promesse de Sydney appelle à la création d'un nouvel instrument (voir la partie : Objectifs pour la protection marine).
2015	Conclusions du Groupe de travail	Adoption par l'Assemblée générale de l'ONU (AGNU) de la résolution 69/292, qui recommande l'élaboration d'un accord de mise en œuvre et l'établissement d'une réunion du Comité préparatoire des Nations unies (PrepCom) en vue d'élaborer un nouveau traité.
2016–2017	Séries de 4 PrepCom	Ces réunions ont pour objectif de définir les éléments du futur traité.
2017	PrepCom finale	Conclusions publiées en juillet assorties de recommandations à l'intention de l'AGNU en vue de convoquer une conférence intergouvernementale (CIG).
2017	Assemblée générale des Nations unies (AGNU)	Adoption le 24 décembre de la Résolution 72/249 portant sur les modalités de la CIG. Une réunion organisationnelle sur les questions de procédure a ensuite lieu en avril.
2018–2020	CIG	Négociations officielles en cours en vue de l'adoption du traité. La CIG a programmé quatre cycles de négociations au cours de cette période. Le premier s'est tenu en septembre 2018.

Source : High Seas Alliance <http://highseasalliance.org/resources>

Objectifs pour la protection marine

En 2002, à l'occasion du sommet mondial sur le développement durable, les dirigeants planétaires, reconnaissant les menaces qui pèsent sur les océans et les multiples services que ces derniers rendent à l'humanité, se sont engagés à établir un réseau mondial d'aires marines protégées représentatif sur le plan de la diversité⁷. Un an plus tard, en septembre 2003, lors du 5^e Congrès mondial sur les parcs naturels à Durban (Afrique du Sud), les participants se sont accordés sur une stratégie décennale afin de favoriser la création d'un système mondial représentatif de réseaux d'aires marines protégées en haute mer⁸. Cette stratégie s'articulait autour de plusieurs composantes clés, dont une consistant à :

Coopérer en vue de développer et de promouvoir un cadre ou une approche à l'échelle mondiale s'appuyant sur la CNUDM, la CDB, l'accord des Nations unies sur les stocks de poissons, la Convention sur les espèces migratoires ainsi que sur d'autres accords pertinents, afin, d'une part, de faciliter la création d'un système mondial représentatif de réseaux d'AMP en haute mer conforme au droit international et, d'autre part, de garantir sa gestion et sa mise en œuvre efficaces, et de coordonner et d'harmoniser les accords et dispositifs internationaux applicables ainsi que les autorités chargées de leur application, en accord avec les principes modernes de précaution, de gestion intégrée fondée sur les écosystèmes et de gouvernance robuste, tels que définies dans les principes des Nations unies.

S'appuyant sur ces initiatives, la 7^e Conférence des parties de la Convention sur la diversité biologique (CDB COP7) qui a eu lieu en 2004 a confirmé la nécessité de créer un réseau mondial d'aires marine protégées d'ici à 2012 (Décision VII/28). Préalablement à cette décision, en 2010, la CDB avait réaffirmé son soutien à la création d'AMP à travers l'accord des objectifs d'Aichi sur les aires protégées, lequel s'était néanmoins révélé décevant en raison de son ambition limitée, surtout concernant le pourcentage visé de couverture des océans⁹.

L'objectif d'Aichi n° 11 vise en effet à ce que d'ici à 2020, au moins 17 % des zones terrestres et des eaux intérieures et 10 % des aires marines et côtières, et plus particulièrement les aires revêtant une importance particulière pour la biodiversité et les services écosystémiques, soient protégées via des systèmes d'aires protégées gérés efficacement et équitablement, représentatifs sur le plan écologique et bien connectés entre eux, ainsi que par le biais d'autres mesures de conservation efficaces, propres à chaque région et intégrées dans le paysage terrestre et marin.

Aussi les objectifs de développement durable (ODD) constitueront-ils l'élément moteur d'une grande partie du travail mondial sur le développement durable et la conservation jusqu'à 2030. L'ODD n° 14 « Vie aquatique - Conserver et exploiter de manière durable les océans, les mers et les ressources marines aux fins du développement durable » renforce l'engagement mondial en faveur d'aires marines protégées dans sa cible 14.5 qui vise, d'ici à 2020, « à préserver au moins 10 % des zones marines et côtières, conformément au droit national et international et compte tenu des meilleures informations scientifiques disponibles »¹⁰.

D'autres cibles des ODD sur la vie aquatique fournissent implicitement des arguments supplémentaires venant appuyer la nécessité d'une protection renforcée de la vie marine, notamment lorsqu'elles expliquent que les réserves marines et AMP contribueront à développer une pêche durable, à protéger les côtes et à stocker le dioxyde de carbone. On comprend notamment à quel point la création de réserves marines et d'AMP est cruciale si l'on veut atteindre la cible 14.2 qui consiste à, « d'ici à 2020, gérer et protéger durablement les écosystèmes marins et côtiers, notamment en renforçant leur résilience, afin d'éviter les graves conséquences de leur dégradation et prendre des mesures en faveur de leur restauration pour rétablir la santé et la productivité des océans ».

En 2014 à Sydney, lors du Congrès mondial de l'UICN sur les parcs naturels, le thème transversal sur la conservation du patrimoine marin a fait émerger un appel urgent à la protection des océans. Ce dernier a notamment fait part de la nécessité d'« augmenter de toute urgence les réserves océaniques protégées gérées efficacement et équitablement au sein d'un réseau d'AMP, représentatif sur le plan écologique et bien connecté, ainsi que par le biais d'autres mesures de conservation efficaces. Ce réseau doit aussi bien viser la protection de la biodiversité que celle des services écosystémiques et inclure au moins 30 % de chaque habitat marin. L'objectif ultime de ce dispositif est de créer un océan entièrement durable, dont au moins 30 % serait épargné de toute activité d'exploitation minière »¹¹. Cette recommandation reflète la recherche d'un consensus international autour de la nécessité de protéger 30 % des océans d'ici à 2030. En effet, le soutien en faveur de cette démarche visant à atteindre ce « double 30 » a été clairement exprimé à Hawaï en 2016 lors de l'adoption par voie de résolution de cette recommandation par le Congrès mondial de la nature de l'UICN¹². À cette occasion, une écrasante majorité des pays (129) et d'ONG (621) avaient voté pour, contre seulement 16 et 37 votes négatifs respectifs¹³.

50% de la planète protégée : la proposition du biologiste Wilson

Edward O. Wilson, biologiste de renom, a quant à lui recommandé que 50 % du monde soit consacré à la nature si l'humanité voulait sauver sa biosphère menacée¹⁴. Dans son livre, Wilson présente sa théorie écologique selon laquelle, au fur et à mesure que les réserves naturelles diminuent dans une région donnée, la diversité qui s'y trouve décline à un degré mathématiquement prévisible. Ainsi, en protégeant 50 % de la planète, plus de 80 % des espèces se stabiliseraient, ce qui permettrait à l'intégralité des écosystèmes de continuer à être représentés. Toujours selon Wilson, étant donné l'ampleur des menaces pesant sur la biodiversité mondiale, les problèmes ne sauraient être abordés de façon parcellaire, un point de vue également partagé dans la Première évaluation mondiale intégrée du milieu marin des Nations unies¹⁵. Aussi, le biologiste demande-t-il à ce qu'une solution audacieuse, à la mesure de l'ampleur du défi, soit mise en place. De manière générale, la proposition de Wilson constitue un objectif inspirant pour l'humanité, qui, d'après lui, permettrait à cette dernière d'apaiser ses peurs et ses inquiétudes s'il était mis en place¹⁶.

Taux de couverture des aires marines protégées

Au cours des deux dernières décennies, le nombre d'AMP désignées a substantiellement augmenté tout comme leur superficie. Si la démarche est tout à fait louable, le tableau général n'est pas aussi encourageant, en particulier pour les zones ne relevant d'aucune juridiction nationale.

La base de données mondiale sur les aires protégées (World Database on Protected Areas - WDPA), un projet géré conjointement par le Programme des Nations unies pour l'Environnement (PNUE) et l'UICN, fait figure d'autorité mondiale pour le recensement des taux de couverture des AMP et de leur emplacement. Depuis septembre 2018, la WDPA a totalisé 15 334 aires marines protégées à travers le globe, lesquelles représentent une couverture totale de 7,44 % des océans¹⁷. Toujours d'après la WDPA, la plupart des AMP sont situées dans les eaux nationales, la création d'aires protégées dans les zones situées au-delà se révélant compliquée en raison de la complexité du cadre juridique dont elles dépendent. La WDPA a ainsi calculé que le taux de couverture des AMP dans les eaux internationales atteignait à peine 1,18 %, un chiffre bien en dessous des 10 % de couverture visés par l'objectif d'Aichi, lequel est déjà bien peu ambitieux au regard du consensus scientifique croissant portant sur la nécessité d'une protection de 30 % des océans.

L'Atlas de la protection marine (MPAtlas), un projet de l'Institut pour la conservation marine, a été lancé en 2012 afin de fournir un tableau plus nuancé de la protection des océans à l'échelle mondiale, en présentant des informations sur la protection réellement mise en place dans certaines AMP. Pour ce faire, MPAtlas a tout d'abord recours aux données de la WDPA, puis examine certaines régions plus avant, en remplaçant les données de la WDPA par des informations issues des bases de données nationales ou régionales si ces dernières sont plus récentes ou fournissent davantage de détails. Ainsi, les informations fournies par MPAtlas incluent un décompte des aires nouvellement proposées, faisant l'objet d'un engagement ou désignées dès que celles-ci sont annoncées, surveillant scrupuleusement les aires proposées ou promises, inventoriant celles ayant été légalement désignées mais pas encore créées dans les faits et celles pleinement établies. L'atlas procède donc à un suivi plus approfondi des aires marines hautement protégées et intégralement mises en place. C'est la raison pour laquelle il a été désigné par la Déclaration de Malte comme « le système de recensement des AMP mondiales le plus précis et le plus largement reconnu »¹⁸.

Ainsi, en février 2019, MPAtlas a rapporté que seuls 4,2 % des océans étaient en réalité couverts par des aires marines protégées – un chiffre substantiellement inférieur à celui annoncé par la WDPA – et qu'environ 2,2 % de l'océan était constitué d'aires marines pleinement protégées¹⁹. Pour les zones ne relevant d'aucune juridiction nationale, d'après les calculs de MPAtlas, le taux de couverture des aires protégées serait de 1,2 % et celui des aires pleinement protégées de 0,8 %.

En mars 2019, les seules AMP à avoir été établies dans des eaux internationales étaient le Sanctuaire Pelagos dans la mer Méditerranée, lequel fait l'objet d'un accord entre l'Italie, Monaco et la France, ainsi que celles désignées au titre de la Convention sur la conservation de la faune et la flore marines de l'Antarctique (CCAMLR) dans l'océan Austral ainsi que de la Convention pour la protection du milieu marin de l'Atlantique du Nord-Est (OSPAR). La CCAMLR diffère des autres conventions régionales sur la mer puisqu'elle a pour mission d'établir des AMP et de réglementer les activités telles que la pêche au sein de ces aires (voir la partie sur l'océan Austral, p. 26) tandis que les mesures de gestion visant à contrôler la pêche et les autres activités en vue d'atteindre les objectifs fixés pour la création d'AMP dans les eaux internationales par la Convention OSPAR doivent être adoptées par les organisations internationales compétentes chargées de gérer ces activités, comme la Commission des pêches de l'Atlantique du nord-est (CPANE). Malheureusement, on constate à l'heure actuelle que les zones dépendant de la CPANE et interdites à la pêche ne coïncident que partiellement avec les AMP désignées au titre de la Convention OSPAR²⁰.

AMP EXISTANT À L'HEURE ACTUELLE DANS LES EAUX INTERNATIONALES

Nom	Situation	Désignation	Superficie totale en km ²	Zone de non-prélèvement en km ²
Sanctuaire Pelagos	Méditerranée	Accord entre l'Italie, Monaco et la France	87 500	Aucune
Orcades du Sud	Océan Austral	AMP au titre de la CCAMLR (2009)	93 818	93 818
Mont sous-marin Altair	Atlantique nord-est	AMP au titre de l'OSPAR (2010)	4 409	Aucune
Mont sous-marin Antialtair	Atlantique nord-est	AMP au titre de l'OSPAR (2010)	2 208	Aucune
Mont sous-marin Joséphine	Atlantique nord-est	AMP au titre de l'OSPAR (2010)	19 370	Aucune
Dorsale médio-atlantique au nord des Açores (MARNA)	Atlantique nord-est	AMP au titre de l'OSPAR (2010)	93 416	Aucune
Complexe du mont sous-marin Milne	Atlantique nord-est	AMP au titre de l'OSPAR (2010)	20 913	Aucune
Nord de la zone de fracture Charlie Gibbs	Atlantique nord-est	AMP au titre de l'OSPAR (2012)	178 651	Aucune
Mer de Ross	Océan Austral	AMP au titre de la CCAMLR (2016)	1 550 000	1 117 000

Source : MPAtlas²¹

Océan Austral

À l'instar du continent Antarctique qu'il entoure, l'océan Austral dispose d'un statut particulier en vertu de la législation internationale. Il fait figure d'exception en matière de création d'aires protégées dans les eaux internationales en raison des dispositions uniques du Traité sur l'Antarctique. En effet, ce dernier prévoit que toute activité dans l'Antarctique doit être réalisée de façon à limiter les répercussions néfastes, et que toute activité future doit être planifiée au moyen d'un nombre suffisant d'informations relatives à leurs potentiels impacts. De surcroît, le traité interdit toute activité d'exploitation minière, sauf à des fins de recherche scientifique. La pêche reste en revanche autorisée. La Convention pour la conservation de la faune et la flore marines de l'Antarctique (CCAMLR), entrée en vigueur en 1982, est l'une des pierres angulaires du Traité sur l'Antarctique. Sa mission est de conserver la vie marine antarctique, une réponse de la communauté internationale face aux inquiétudes suscitées par l'intérêt commercial croissant pour le krill (*Euphausia superba*), véritable clé de voûte de tout l'écosystème antarctique²².

L'article II de la CCAMLR établit que le terme « conservation » sous-entend une exploitation rationnelle des ressources et souligne clairement que la pêche et les activités associées ne sont pas interdites, sous réserve que celles-ci soient conçues et menées dans le respect des principes de conservation tels que définis à son paragraphe 3. En tant qu'organe responsable de la gestion de toutes les pêcheries de l'Antarctique, la CCAMLR est

considérée comme le modèle international de cette approche prudente et écosystémique, bien différente de celle des organisations régionales de gestion des pêches (ORGP). Comme le définit le texte de la convention, la protection de la zone est intégralement soumise à cette approche et, en 2009, la Commission de la CCAMLR s'est fixé comme objectif d'atteindre un système représentatif d'AMP au sein de la zone de la convention en 2012²³.

Consécutivement à cela, la Commission a convenu d'une mesure de conservation (CM 91-04, 2011) définissant le cadre général de la création d'AMP au titre de la CCAMLR. De cette mesure découlent plusieurs objectifs ayant trait à : 1) la protection d'aires abritant des écosystèmes marins représentatifs ou d'importance et différents types d'éléments naturels ; 2) la création d'aires scientifiques de référence en vue de surveiller la variabilité naturelle ou les effets de la pêche ; et 3) la protection de zones permettant de préserver la résilience ou la capacité d'adaptation du milieu marin face aux changements climatiques.

En 2009, la Commission de la CCAMLR a désigné le plateau sud des Orcades du Sud comme AMP, créant ainsi la première AMP entièrement en haute mer²⁴. Cette désignation est d'autant plus importante qu'il s'agit d'une zone de non-prélèvement, interdite à toute activité de pêche ainsi qu'à tout rejet ou évacuation de déchets de la part des navires. En octobre 2016, après cinq années de discussions et d'améliorations, la Commission de la CCAMLR est enfin parvenue à un consensus sur l'adoption d'une aire marine protégée en mer de Ross.



Colonie de manchots
Adélie, Antarctique
© Christian Åslund/
Greenpeace

Cette AMP, entrée en vigueur le 1er décembre 2017, couvre 1,55 million de km², dont 72 % sont classés comme zone de non-prélèvement, interdisant ainsi toute activité de pêche.

Dans le reste de la zone, certains types de captures de poissons et de krill sont autorisés à des fins de recherches scientifiques²⁵. Si cette situation constitue une avancée majeure dans le domaine de la protection des océans, la Commission de la CCAMLR n'a cependant toujours pas respecté son engagement d'établir un système représentatif d'AMP dans l'océan Austral puisqu'elle n'est parvenue à aucun accord lors de sa réunion de 2018 visant à adopter des propositions fortes pour la création d'AMP dans l'Antarctique est et dans la mer de Weddell²⁶.

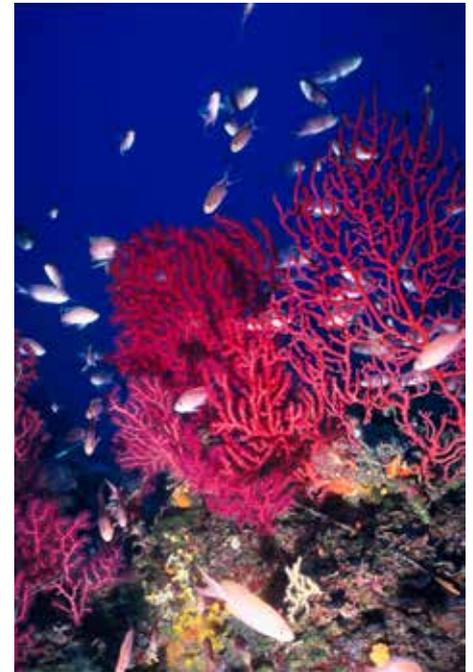
Protection de la haute mer en Méditerranée – un cas particulier

Bien qu'elle représente moins d'1% de la surface des océans, la mer Méditerranée abrite environ 8 % des espèces marines connues : c'est un véritable réservoir de haute biodiversité^{27, 28}. En effet, parmi les quelque 17 000 espèces marines qu'elle recèle, un cinquième sont endémiques²⁹. Par ailleurs, la multitude de conditions climatiques et hydrologiques de la Méditerranée permet la présence d'organismes aussi bien tempérés que subtropicaux^{30, 31}. Dans l'ensemble, cette mer est plus chaude, plus salée et moins chargée en nutriments que l'océan Atlantique, et bénéficie donc d'une productivité primaire moins élevée, en particulier dans le bassin oriental, une caractéristique qui la rend particulièrement vulnérable à la surexploitation.

Parmi la faune emblématique de la mer Méditerranée, citons notamment plusieurs espèces de cétacés et de tortues marines, le thon rouge de l'Atlantique est et de la Méditerranée (*Thunnus thynnus*) qui possède des aires de reproduction d'importance capitale dans la région, ainsi que le phoque moine de Méditerranée (*Monachus monachus*) en danger critique d'extinction³².

L'océanographie de la mer Méditerranée est caractérisée par des plateaux continentaux étroits et une vaste zone de haute mer de 1 500 mètres de profondeur en moyenne. Son point le plus profond, situé dans la fosse « Calypso Deep » en mer Ionienne, atteint 5 267 mètres. Ces eaux abritent des monts sous-marins fragiles, des fluides riches en méthane ainsi que des fosses sous-marines que les scientifiques ont à peine commencé à explorer³³.

Cette mer de petite taille et semi-fermée rejoint l'océan Atlantique via le détroit de Gibraltar, son point le plus étroit qui ne mesure que 13 km de large. Elle est bordée par 24 pays, qui bénéficient de sa riche biodiversité et productivité depuis des millénaires. En effet, la Méditerranée et ses côtes, qui comptent aujourd'hui parmi les plus peuplées au monde, permettent l'existence de nombreuses activités économiques majeures, dont certaines revêtent une grande importance culturelle. Or,



Paramuricea Clavata (gorgone rouge) de Méditerranée
© Greenpeace/
Alessandro Giani

pour plusieurs raisons complexes, aucun de ses pays côtiers n'exploite véritablement de ZEE en Méditerranée. Ainsi, la plupart de ses eaux ne relèvent pour ainsi dire d'aucune juridiction nationale.

Néanmoins, la Méditerranée est radicalement différente du reste de la haute mer du globe, sa biogéographie étant d'une échelle bien moindre que celle des principaux bassins océanographiques. Par conséquent, comme dans de précédentes études, cette mer a été exclue du réseau d'aires marines protégées en haute mer modélisé dans notre étude^{34, 35, 36}. Il n'en reste pas moins qu'il est aujourd'hui plus qu'urgent de protéger la Méditerranée pour les raisons évoquées ci-dessous.

Au vue de l'accumulation des impacts découlant des multiples facteurs de stress passés et actuels, on peut dire que la Méditerranée est en « état de siège »³⁷. Les pratiques de pêche non durables et destructrices, la perte et la dégradation des habitats, la pollution, l'eutrophisation, l'introduction d'espèces envahissantes et le changement climatique n'en sont que les principaux facteurs, chacun faisant payer un lourd tribut à la biodiversité de la Méditerranée. D'après une inquiétante étude réalisée par des scientifiques du Centre commun de recherche de la Commission européenne et publiée dans la revue *Scientific Reports* du groupe Nature, les multiples pressions exercées sur la Méditerranée pourraient pousser son écosystème au-delà du point de non-retour et mener à un effondrement des populations de poissons vitales au secteur de la pêche³⁸. Toujours d'après cette étude, 93 % des stocks de poissons seraient surexploités et au cours des 50 dernières années, la mer Méditerranée aurait perdu 41% de ses mammifères marins et 34% de l'ensemble de ses réserves de poissons. C'est en Méditerranée occidentale et en mer Adriatique que le déclin serait le plus important (-50%), tandis qu'il serait plus limité en mer Ionienne (-8%)³⁹.



Dauphins du sanctuaire
Pelagos, Méditerranée
© Greenpeace/Paul Hilton

La mer Méditerranée a également connu des évolutions significatives en raison de l'introduction de près d'un millier d'espèces envahissantes via différents vecteurs (transport maritime, aquaculture et ouverture du canal de Suez), lesquels ont contribué à modifier les réseaux trophiques, le fonctionnement des écosystèmes et la fourniture des services écosystémiques⁴⁰.

Ces résultats ainsi que d'autres conclusions similaires ont soulevé d'immenses inquiétudes. Aussi, Greenpeace, le WWF, Oceana et d'autres organisations ont appelé plusieurs fois à un renforcement considérable de la gestion de la Méditerranée ainsi qu'à la création d'un réseau exhaustif et efficace d'aires protégées afin de préserver la biodiversité de ses eaux internationales.

Depuis que Greenpeace a ouvert la marche en 2006 avec sa proposition de création d'un réseau représentatif de réserves marines hautement protégées en haute mer méditerranéenne⁴¹, d'autres initiatives ont suivi visant à recenser les aires d'importance et qui devraient être considérées comme prioritaires dans le cadre des actions de protection. Par exemple, une étude menée en 2013 analyse les différentes propositions et travaux de cartographie, y compris le processus d'identification des zones d'importance écologique et biologique (ZIEB), et inventorie ainsi dix aires englobant 10 % de la mer Méditerranée, lesquelles revenaient régulièrement dans les propositions de protection de l'époque, plus 10 % supplémentaires retenus dans au moins cinq des propositions⁴².

Des preuves scientifiques solides, provenant des aires protégées existantes en Méditerranée, notamment le parc marin de la Côte Bleue, en France, Columbretes en Espagne, Torre Guaceto en Italie et le parc national de Taza en Algérie, confirment que la désignation supplémentaire d'aires hautement protégées générerait des avantages pour la région tant aux niveaux économique et social que sur le plan de la conservation⁴³. L'Adriatique, par exemple, est l'une des zones de Méditerranée qui bénéficierait le plus de la création d'une ou de plusieurs vastes aires

marines protégées, puisqu'elles permettraient de renverser le déclin écologique et socio-économique dont souffre actuellement la région⁴⁴.

En 2016, une évaluation du statut des AMP ainsi que d'autres mesures de conservation déployées dans la zone, fondée sur des chiffres datant d'octobre 2016 et issus de la base de données rassemblant des informations sur les sites d'intérêt pour la conservation de l'environnement marin en mer Méditerranéenne (connue sous le nom de MAPAMED), a révélé qu'au cours des quinze dernières années, le nombre d'AMP en Méditerranée avait été multiplié par dix, portant ainsi à 6,5 % la surface recevant un type quelconque de protection⁴⁵. Cette protection demeure cependant essentiellement effective sur le papier puisque la plupart des AMP désignées n'ont pas encore été créées et/ou ne sont pas entrées en vigueur. Par ailleurs, seules 0,04 % des AMP par zone sont censées faire l'objet d'une protection totale, sachant que leur taille moyenne ne dépasse pas 5 km². En outre, les eaux territoriales des pays de la Méditerranée sont davantage couvertes par des AMP (95 418 km² soit 14,74 %) que les zones de haute mer situées au-delà de la limite de 12 milles marins (84 381 km², soit 4,51 %).

Le Sanctuaire Pelagos, qui s'étend sur 87 500 km², a été créé en 1999 grâce à un accord conjoint entre la France, l'Italie et Monaco visant à protéger le rorqual commun et d'autres cétacés. Il s'agit de la première AMP de haute mer au monde. Mais en réalité, cette réserve qui n'en aurait d'après certains que le nom, souffre de la piètre gouvernance caractéristique de la région, qui ne permet pas la mise en place d'une gestion véritablement internationale^{46, 47}.

Certes, on compte un nombre bien plus important d'AMP dans la moitié occidentale de la Méditerranée et depuis 2012, 391 sites Natura 2000 ont été désignés au titre de la directive Habitats de l'Union européenne. Toutefois, ces désignations n'entraînent que rarement des mesures restrictives dans les zones concernées⁴⁸. Aussi, dans leur ensemble, les AMP de Méditerranée ne forment aucun réseau connecté ou représentatif et n'apportent absolument pas le niveau de protection requis pour préserver la faune et la flore marines méditerranéennes.

En effet, les AMP de Méditerranée ont été désignées par le biais de dispositifs divers et variés aux niveaux régional, national et international et offrent donc des niveaux de protection très différents les uns des autres. Par ailleurs, il arrive que les différents types de désignation se chevauchent, ce qui complique d'autant plus la gouvernance de la mer Méditerranée.

Sternes arctiques
© Bernd Roemmelt/
Greenpeace



À l'instar de la gouvernance de la haute mer en général, la juridiction dont dépend la Méditerranée implique de nombreuses entités dont les compétences relèvent de secteurs divers et variés⁴⁹. Parmi les principaux organismes en question, citons notamment la Commission générale de pêche pour la Méditerranée (CGPM) et la Commission internationale pour la conservation des thonidés de l'Atlantique (CICTA), toutes deux chargées de la pêche, l'Accord sur la conservation des cétacés de la mer Noire, de la Méditerranée et de la zone atlantique adjacente (ACCOBAMS) et la Convention de Barcelone, responsable de la conservation. Au titre de cette dernière, 35 aires spécialement protégées d'importance méditerranéenne (ASPIM) proposées par 10 pays ont été créées depuis 2001, avec pour objectif général de conserver le patrimoine naturel de Méditerranée⁵⁰. Pour figurer sur la liste des ASPIM, un site doit remplir les critères suivants :

- être important pour la conservation des éléments composant la diversité biologique de la Méditerranée ;
- abriter des écosystèmes spécifiques à la Méditerranée ou des habitats d'espèces en danger ;
- présenter un intérêt particulier sur le plan scientifique, esthétique, culturel ou éducatif.

La désignation d'ASPIM vise à ce que toutes les parties signataires de la Convention de Barcelone soient collectivement responsables de faire appliquer les réglementations dans ces aires. Mais si l'ensemble du réseau d'ASPIM couvre environ 3,57 % (ou 89 856 km²) de la surface de la Méditerranée, seul le Sanctuaire Pelagos dédié aux mammifères marins englobe des eaux internationales.

En conclusion, la survie de la biodiversité de la mer Méditerranée et des services écosystémiques qu'elle rend à des millions de personnes nécessite des mesures immédiates, fortes et coordonnées afin de répondre aux pressions colossales et croissantes auxquelles doit faire face la région ainsi qu'à l'incapacité des autorités à mettre en place une protection à l'échelle requise. Par conséquent, s'ils veulent atteindre leurs objectifs internationaux de conservation, les pays méditerranéens n'auront pas d'autre choix que d'accroître conjointement la taille des AMP actuellement présentes en Méditerranée ainsi que le nombre d'entre elles faisant l'objet d'une protection totale, à défaut de quoi les bénéfices tirés de l'écologie de la Méditerranée continueront à décliner. Pour ce faire, les efforts déployés devront avant tout se concentrer sur l'application stricte des réglementations en matière de gestion.

Zones d'importance écologique et biologique (ZIEB)

L'engagement de 2004 des signataires de la CDB en faveur de l'établissement d'un réseau mondial d'aires marines protégées d'ici à 2012 a constitué une avancée clé dans le cadre de l'objectif de la communauté internationale visant à la protection des océans. Il a également contribué à ce que la CDB déploie des projets supplémentaires afin de recenser les aires pouvant nécessiter des mesures de conservation et de gestion renforcées, et en particulier des dispositifs de gestion adaptés, tels que les AMP et les études d'impact environnemental. La CDB souligne que ces projets s'inscrivent dans un processus ouvert et en constante évolution qui devra être poursuivi afin de permettre une amélioration et une mise à jour continues au fur et à mesure de l'arrivée de nouvelles données scientifiques et techniques⁵¹.

En 2008, après de longues discussions au sein de l'Organe subsidiaire chargé de fournir des avis scientifiques, techniques et technologiques de la CDB (annexe 1 de la décision IX/20 de la CDB), la 9^e Conférence des parties (COP9) de la Convention a adopté une série de critères scientifiques pour identifier les zones d'importance écologique et biologique (ZIEB), et notamment les habitats situés sur les grands fonds des eaux internationales⁵². Les sept critères établis sont les suivants :

- caractère unique ou rareté ;
- importance spécifique pour le cycle biologique des espèces ;
- importance pour les espèces/habitats menacés, en danger ou en déclin ;
- vulnérabilité, fragilité, sensibilité ou récupération lente ;
- productivité biologique ;
- diversité biologique ;
- caractère naturel.

Deux ans plus tard, en 2010, la COP10 a élaboré des orientations scientifiques afin de respecter les critères de désignation des ZIEB et organisé une série d'ateliers régionaux chargés de définir les ZIEB marines. Dans ce cadre, la conférence a souligné que l'application des critères de désignation des ZIEB était un « exercice scientifique et technique » et a insisté sur le fait que leur identification, ainsi que la mise en œuvre de mesures de conservation et de gestion les concernant, incombaient aux États et aux organisations intergouvernementales compétentes, conformément à la réglementation internationale et notamment à la Convention des Nations unies sur le droit de la mer.

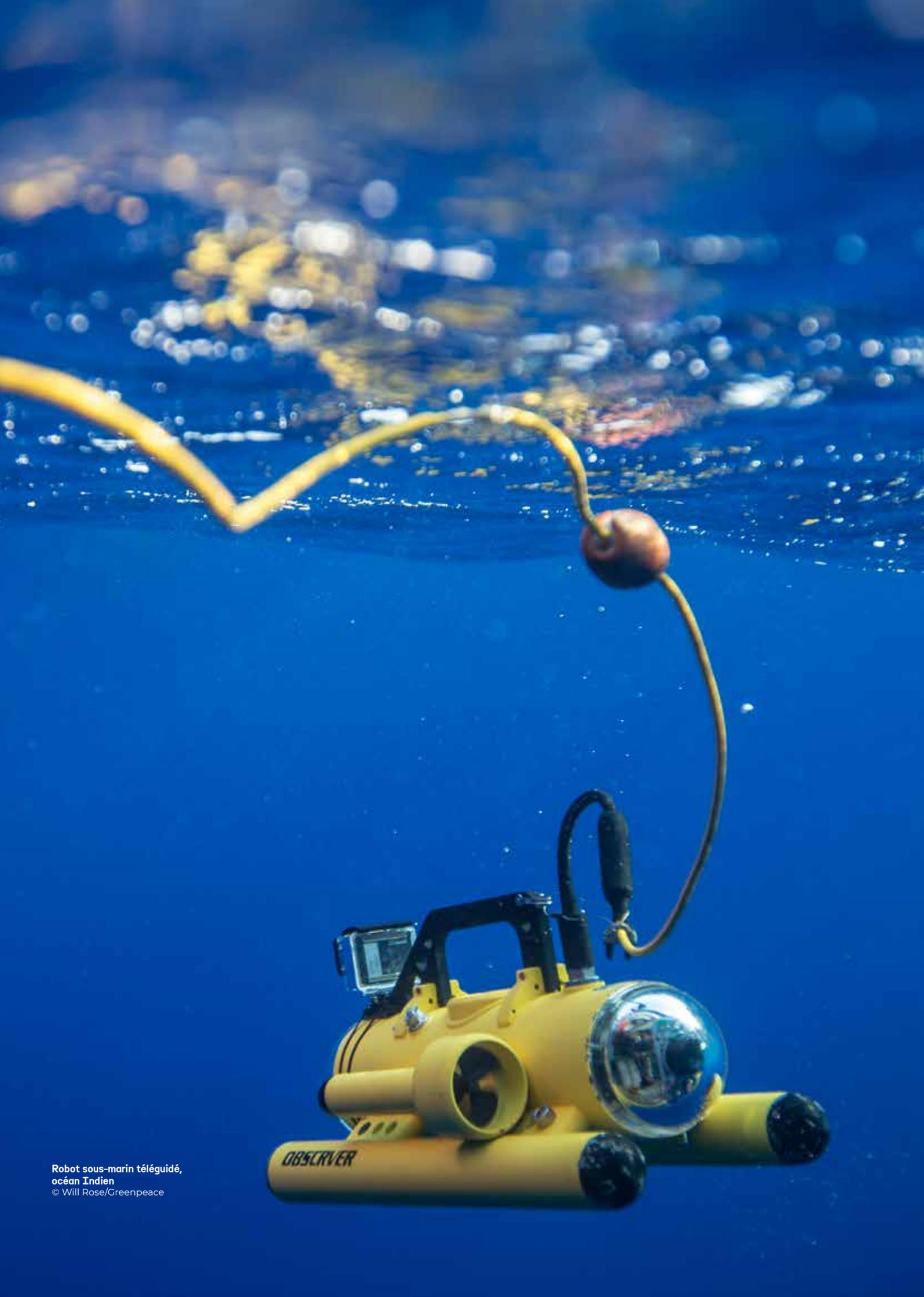
Entre 2012 et mars 2018, plus de 270 ZIEB ont ainsi été recensées par les 14 ateliers régionaux, qui continuent de déployer des efforts constants pour actualiser les données et créer davantage de zones d'importance. Les ateliers étaient invités à couvrir les régions suivantes : le Pacifique ouest et sud, l'ensemble des Caraïbes et la région médio-atlantique occidentale, l'océan Indien sud, le Pacifique tropical ouest et tempéré, le Pacifique nord, l'Atlantique sud-est, l'océan Australe, l'Atlantique nord-ouest, la Méditerranée, l'océan Indien nord-est, l'océan Indien nord-ouest et les régions du Golfe adjacentes, les mers d'Asie orientale, la mer Noire, la mer Caspienne et la mer Baltique. Certaines ZIEB se situent entièrement ou partiellement dans des zones ne relevant d'aucune juridiction nationale tandis que d'autres se chevauchent. Un manque de connaissances concernant la représentativité des ZIEB dans leur ensemble, et plus particulièrement de celles situées dans les eaux internationales, a été noté à cette occasion⁵³.

L'approche utilisée pour identifier les ZIEB tient compte de leur nature à la fois complexe et dynamique ainsi que du fait que de petites comme de grandes surfaces peuvent convenir. Par exemple, un simple mont sous-marin peut être désigné comme ZIEB, tout comme une chaîne entière si la connectivité entre chaque mont est déterminante pour la conservation. De même, les ZIEB n'ont pas besoin d'être statiques puisqu'il est parfois plus approprié de voir leurs frontières évoluer pour suivre l'océanographie saisonnière, annuelle, ou à plus long terme, ou en fonction des caractéristiques climatiques telles que le mouvement des glaces. De cette manière, les ZIEB peuvent correspondre plus précisément à la variabilité naturelle de leurs caractéristiques écologiques.

Les descriptions de ZIEB figurent dans le répertoire ZIEB de la CDB ainsi que dans les documents utilisés pour éclairer les décisions nationales et internationales sur la gestion des océans et la protection spatiale⁵⁴. Ainsi les ZIEB devraient-elles jouer un rôle central dans l'identification des sites nécessitant une protection au titre du nouveau traité mondial sur les océans.

Autres évaluations régionales visant à recenser les aires de haute importance écologique en haute mer

Parallèlement, Birdlife International a mis au point une méthodologie afin de normaliser l'analyse des données de suivi des oiseaux marins de sorte à identifier les sites d'importance en termes de conservation à l'échelle mondiale et régionale⁵⁵. Plus de 500 zones d'importance pour les oiseaux et la biodiversité recensées par Birdlife International ont ainsi été intégrées à la liste de ZIEB, dont certaines n'ont été désignées que sur la base des données relatives aux oiseaux marins⁵⁶. À noter qu'une autre évaluation basée sur des données scientifiques est actuellement en cours afin de recenser les aires importantes pour les mammifères marins⁵⁷.



Robot sous-marin téléguidé,
océan Indien
© Will Rose/Greenpeace

LA VIE EN HAUTE MER

Une nouvelle ère pour l'exploration des océans

Bien que la haute mer recouvre quasiment deux tiers des océans, son exploration reste limitée et son environnement mal compris. Néanmoins, l'importance de la haute mer pour le fonctionnement des services écosystémiques est bien connue, tout comme l'importance de conserver les connexions et les interdépendances entre les organismes marins et leur environnement, essentielles pour maintenir les fonctions écosystémiques^{58, 59}.

En effet, on sait désormais que la haute mer recèle une incroyable variété d'espèces, en particulier dans ses eaux profondes⁶⁰. Les chiffres actuels dont on dispose sur la biodiversité ont été recueillis par différentes organisations, notamment dans le cadre du projet de Recensement de la vie marine (Census of Marine Life ou CoML), pour lequel ont collaboré des centaines de scientifiques issus de dizaines de pays. Ce projet, qui a duré 10 ans (de 2000 à 2010), a permis de découvrir plus de 6 000 nouvelles espèces, illustrant bien l'ampleur de ce qu'il reste à découvrir sur la biodiversité marine⁶¹.

Aujourd'hui, la recherche se concentre également sur les changements physiques se produisant actuellement dans l'océan et l'atmosphère. Le système mondial d'observation Argo est un outil clé de ces recherches. Ce programme consiste en un réseau mondial à grande échelle de près de 4 000 flotteurs profilants déployés tous les 3 degrés environ (300 km) et effectuant des mesures systématiques de la température, de la salinité et de la vitesse des courants dans les couches supérieures de l'océan⁶². L'accès aux données produites par les flotteurs Argo est libre et se fait en temps quasi réel grâce aux centres des données mondiales situés à Brest, en France, et à Monterey, en Californie, lesquels collectent des informations à des fins d'analyses climatiques.

Dans ce domaine, la technologie de pointe est précieuse pour les chercheurs pour tout ce qui touche à la localisation, à la cartographie et à l'étude de la faune et des habitats de haute mer⁶³. Ainsi, les submersibles habités, les véhicules commandés à distance et les véhicules sous-marins autonomes équipés de caméscopes ultra sophistiqués permettent aux biologistes d'obtenir une image plus précise du milieu marin dans les zones de haute mer et les grands fonds.

De même, le déploiement d'hydrophones, seuls ou en groupes, permet un suivi acoustique des océans, tandis que les courantomètres acoustiques à effet Doppler (ADCP) mesurent la vitesse et la direction des courants océaniques en faisant appel à la technique de décalage doppler. Des sonars à balayage latéral sont utilisés pour produire des images du plancher marin à grande échelle tandis que des chaluts, des submersibles et des appareils à membrane semi-perméable sont employés pour recueillir des échantillons. Les satellites environnementaux quant à eux sont capables d'enregistrer la température de la surface océanique ainsi que des informations sur l'étendue de la glace de mer et les concentrations de chlorophylle (pigment issu de la photosynthèse du phytoplancton). Parallèlement, d'autres satellites relaient des données issues de marqueurs placés sur les animaux marins ou de capteurs installés dans les océans.

De surcroît, certaines techniques de génie génétique sont particulièrement intéressantes puisqu'appliquées à l'environnement marin, elles permettent d'obtenir de meilleures connaissances grâce à l'ADN environnemental. En effet, l'analyse des traces d'ADN laissées par les cellules cutanées, les écailles, les fèces ou encore des substances visqueuses dans les colonnes d'eau permet de déterminer quels types d'organismes sont ou étaient présents dans les sites étudiés. Les résultats obtenus dans les heures ou semaines qui suivent peuvent ainsi affiner nos connaissances sur les espèces : présence/absence, schémas migratoires, préférences en termes d'habitats et reproduction⁶⁴.

Ces nombreuses recherches voient le jour à un moment où la véritable étendue des nombreuses menaces imposées par l'être humain aux océans est elle aussi en passe d'être mieux connue. L'initiative « Global Fishing Watch », par exemple, a recours à la technologie satellite, au cloud computing et à l'apprentissage automatique pour surveiller les flottes de pêche commerciale tout en fournissant un suivi quasiment en temps réel de l'activité halieutique⁶⁵. Le projet « Eyes on the Sea », assez similaire, associe surveillance et imagerie satellite avec des informations telles que celles sur les navires de pêche ou les données océanographiques en vue d'aider les autorités à détecter les activités de pêche suspectes⁶⁶. Ce type d'initiatives permet ainsi d'identifier les zones océaniques où les pressions exercées par la pêche sont les plus importantes.

Les différentes zones océaniques

Zone épipélagique

La zone épipélagique correspond aux 200 m de pleine mer situés sous le niveau des vagues, où la lumière du soleil pénètre suffisamment pour permettre la photosynthèse. La biomasse et la diversité des espèces y sont toutes deux typiquement moins importantes que près du plateau continental (zone néritique), mais en raison de l'immense étendue de la haute mer, la zone épipélagique dans son ensemble totalise une productivité, une biomasse et une biodiversité considérables⁶⁷. La production du phytoplancton est conditionnée par la lumière du soleil et la présence d'éléments nutritifs tels que l'azote, le phosphore, le silicate, le calcium et le fer, qui ne sont pas répartis uniformément dans la haute mer. En général, la zone épipélagique est pauvre en nutriments, notamment parce qu'une partie des

Thons rouges
© Greenpeace/Roger Grace



Requin baleine
© Paul Hilton/Greenpeace

organismes morts coule vers les profondeurs. Toutefois, dans certains endroits tels que les fronts océaniques, où eaux froides et eaux plus chaudes se rencontrent, et les zones d'upwellings, où une eau dense, plus fraîche et souvent riche en éléments nutritifs remonte des profondeurs vers la surface, les nutriments sont présents en quantité suffisante pour permettre des efflorescences planctoniques qui alimentent les réseaux trophiques marins⁶⁸.

Le phytoplancton constitue la nourriture du zooplancton, formé entre autres par les amphipodes, le krill, les copépodes, les salpidés, les méduses et les formes larvaires de certains organismes marins. Le zooplancton est à son tour consommé par une kyrielle d'animaux de la zone épipélagique, des petits poissons tels la sardine aux géants comme la raie Manta et le requin-baleine. Parmi les autres prédateurs, on trouve les calamars, les thons, les marlins, les requins, les oiseaux marins, les dauphins et autres odontocètes (cétacés à dents).

Thons, requins, marlins, tortues, baleines, phoques, manchots et albatros figurent parmi les espèces migratoires que l'on croise en haute mer. Le thon rouge du Pacifique (*Thunnus orientalis*), par exemple, fraie dans la mer du Japon puis traverse l'océan Pacifique sur 8 000 km jusqu'aux côtes californiennes où il passe plusieurs années à se nourrir avant de longer la côte vers le sud jusqu'au Mexique et parfois vers le nord en direction de l'État de Washington. Vers l'âge de sept ans, il retourne dans sa zone de frai, un voyage possible du fait que l'espèce a le sang chaud et supporte donc de séjourner en eau froide. Le requin-baleine, le plus gros animal au monde, sillonne lui aussi les océans. Pendant 2,3 ans, des scientifiques ont suivi



sur 20 000 km la migration d'une femelle requin-baleine marquée sur l'île Coiba, au Panama, essentiellement le long du courant nord-équatorial, depuis le Pacifique tropical est jusqu'à la fosse des Mariannes dans la zone indo-Pacifique⁶⁹.

Le programme de marquage mondial des prédateurs pélagiques (Global Tagging of Pelagic Predators - GTOPP) poursuit le travail du programme précédent de marquage des prédateurs du Pacifique (Tagging of Pacific Predators - TOPP), l'un des projets de terrain du CoML⁷⁰. Le GTOPP associe des données provenant de nombreuses espèces de grands migrateurs et les superpose à des informations océanographiques afin de rendre accessibles les jeux de données qui en résultent à la communauté mondiale des chercheurs et des enseignants. Autre initiative étudiant les espèces migratoires, le programme Migratory Connectivity in the Ocean (MiCO)⁷¹ se penche sur l'usage que font ces espèces de la haute mer en rassemblant et en synthétisant des données sur toutes les espèces migratoires de poissons, mammifères marins, oiseaux marins et tortues de mer passant par la haute mer en vue de recenser les zones de rassemblement utilisées pour des activités spécifiques (appelées « nodes » en anglais) ainsi que les « couloirs » qui les relient entre elles. Les données proviennent d'études incluant la télémétrie, le marquage/la recapture, l'analyse d'isotopes stables et l'analyse génétique, et l'échantillonnage acoustique. D'après MiCO, plus de 50 % des espèces passées en revue figurent sur la liste rouge de l'UICN ; 20 d'entre elles sont classées « En danger », et 13 « En danger critique ».

Zone mésopélagique

À elles deux, la haute mer et les eaux profondes, c'est-à-dire les eaux situées à plus de 200 m de profondeur, recouvrent la majeure partie de la surface de la Terre et représentent 98,5 % de son habitat en volume⁷². Pourtant, les grands fonds océaniques constituent l'environnement le moins bien compris de notre planète. Jusqu'à récemment,

les spécialistes estimaient que les informations sur les organismes peuplant la zone mésopélagique et les facteurs abiotiques qui façonnent leurs communautés étaient insuffisantes pour élaborer une classification biogéographique significative de cette zone. Une tentative a toutefois été faite récemment pour pallier cette lacune⁷³.

La zone mésopélagique compte des espèces appartenant à de nombreux embranchements, mais étant donné que la quantité de lumière naturelle qui y pénètre est très faible, tous les animaux qui y vivent sont des carnivores, détritivores ou herbivores qui migrent vers la surface la nuit venue pour se nourrir. Des recherches récentes révèlent que les grands fonds comptent davantage d'espèces de bactéries que la surface de la haute mer, et que les microbes jouent un rôle essentiel dans les écosystèmes des profondeurs pélagiques⁷⁴. On y trouve des crustacés, notamment des copépodes, amphipodes et ostracodes, mais aussi des vers sagittaires et de grands animaux gélatineux comme le béroé ovale, des méduses, des siphonophores et des salpidés. Parmi ces organismes dérivants, on trouve des nageurs actifs, que l'on appelle collectivement le « necton », et qui comportent de nombreuses espèces parmi lesquelles certains requins des grands fonds, du krill, des crevettes et divers céphalopodes comme le poulpe *Grimpoteuthis* et le vampire des abysses qui récolte et se nourrit de la neige marine à l'aide de deux longs filaments collants^{75, 76}.

On sait depuis longtemps que les poissons de la zone mésopélagique constituent la majeure partie de la biomasse halieutique mondiale : en effet, des estimations réalisées à partir d'échantillons de prises au chalut ont conclu à une biomasse totale d'environ un milliard de tonnes, parmi lesquelles le poisson-lanterne (*Myctophidae*) arrivait en tête⁷⁷. Or, ces résultats ont récemment été remis en question car ils seraient dix fois inférieurs à la réalité. Le nouveau chiffre avancé s'appuie sur des informations rassemblées lors d'une expédition de circumnavigation

espagnole entre décembre 2010 et juillet 2011, laquelle a eu recours à des techniques d'échantillonnage acoustique permettant d'obtenir des données plus précises⁷⁸.

Il va sans dire que l'importante biomasse inexploitée des poissons de la zone mésopélagique revêt un intérêt colossal pour l'industrie de la pêche, et des détecteurs venus du Pakistan et de Norvège sont d'ores et déjà en train de sonder les océans^{79, 80, 81}. Or, les poissons de cette zone jouent un rôle fondamental dans la pompe à carbone biologique. Sans cette dernière, on estime que les concentrations actuelles en CO₂ dans l'atmosphère seraient plus élevées d'environ 200 ppm (soit de 50%)⁸². De nombreux spécialistes ont donc lancé une mise en garde : la pêche dans la zone mésopélagique doit être pratiquée de manière durable de sorte à ne pas compromettre la capacité des océans à stocker le carbone. Pour reprendre les mots du Professeur Carlon Duarte, « les réserves étant bien plus importantes dans cette couche, cela signifie qu'elle doit jouer un plus grand rôle dans le fonctionnement de l'océan et notamment dans le flux de carbone et d'oxygène y circulant »⁸³.

Les eaux profondes sont réputées pour abriter d'imposants calmars, dont le calamar géant (*Architeuthis dux*) et le calamar colossal (*Mesonychoteuthis hamiltoni*). Pouvant atteindre une longueur de 12 à 14 m et un poids de 750 kg, ce dernier est le plus grand invertébré recensé. Plusieurs faisceaux de données indiquent que, d'une manière générale, les populations de calmars vivant en eaux profondes ont tendance à être importantes⁸⁴. Fait intéressant, une analyse génétique du calamar géant laisse supposer que les individus appartiennent tous à une population mondiale unique de taille substantielle⁸⁵.

Parmi les mammifères marins plongeant en profondeur pour se nourrir dans la zone mésopélagique, le cachalot est un prédateur très friand de calamar, et notamment de l'espèce géante. Une étude du contenu de l'estomac de 36 cachalots retrouvés dans deux échouages massifs sur les côtes de la Tasmanie a recensé des becs de calmars de différentes tailles appartenant à de très nombreuses espèces de céphalopodes⁸⁶. D'après une estimation, la quantité annuelle de calmars de grands fonds consommée par les cachalots dépasserait les prises du monde entier⁸⁷. Quant à l'éléphant de mer du Nord, il peut chasser jusqu'à une profondeur de 1 754 m, mais c'est la baleine à bec de Cuvier qui détient le record des mammifères marins, plongeant jusqu'à 2 992 m pour se nourrir^{88, 89}.

Zone bathypélagique

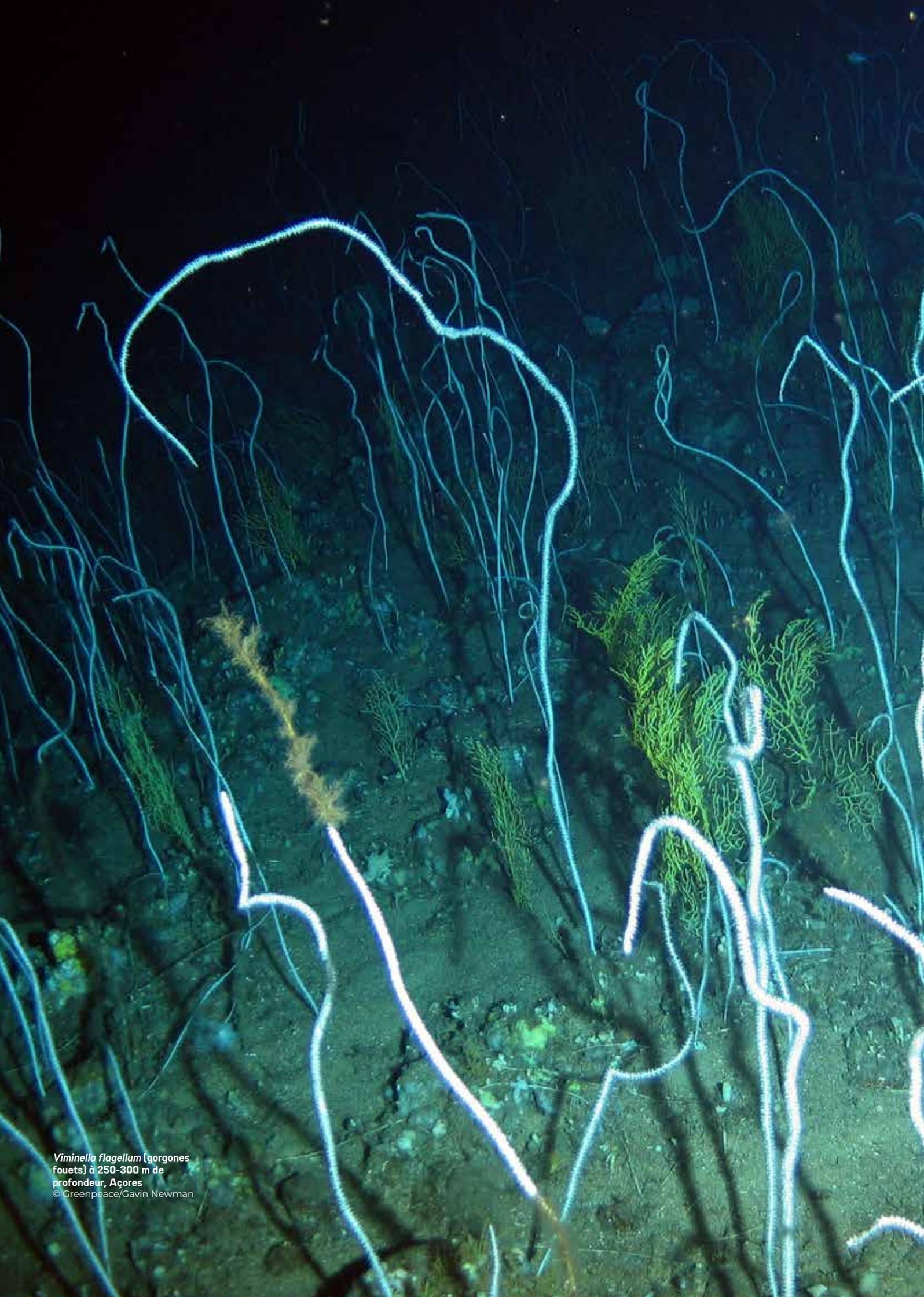
La zone bathypélagique correspond aux eaux comprises entre 1 000 et 3 000 m de profondeur. La lumière du soleil ne pénètre jamais dans cet espace, aussi appelé zone d'obscurité absolue. Ici, les seuls traits de lumière sont les flashs bioluminescents provenant des animaux marins eux-mêmes⁹⁰. Si la bioluminescence est un phénomène observé chez de nombreux organismes marins dans

toutes les profondeurs des océans, il est particulièrement important chez une grande proportion d'espèces bathypélagiques⁹¹. À ces profondeurs, la bioluminescence sert à attirer un partenaire, adresser un avertissement, éclairer ou attirer une proie, mais c'est aussi un mécanisme de défense.

Ainsi, la femelle baudroie abyssale de Johnson (*Melanocetus johnsonii*), comme toutes les baudroies, possède, sur la première épine de sa nageoire dorsale, un leurre capable d'émettre de la lumière grâce à des bactéries, qui attire crustacés pélagiques, poissons et autres proies⁹². Le dimorphisme sexuel est considérable chez cette espèce, dont le mâle est beaucoup plus petit (3 cm seulement, contre 18 cm de long pour la femelle). Les organes sensoriels du mâle, très développés, lui permettent de trouver une partenaire. Le mâle s'accroche à la femelle, ce qui lui permet de féconder les œufs de cette dernière, qui les relâche ensuite dans l'océan⁹³. Par ailleurs, en 2009, sept nouvelles espèces de vers annélides marins ont été découvertes à plus de 1 800 m de profondeur. Cinq d'entre elles étaient des « bombardiers verts », dont les organes produisent une bioluminescence verte lorsqu'ils s'autotomisent, comportement qui leur permet d'échapper à un prédateur⁹⁴.

On sait que la bioluminescence a évolué à au moins 40 occasions distinctes, et une étude récente a découvert que cette fonction a évolué à 27 occasions distinctes uniquement chez les actinoptérygiens⁹⁵. Le corps de certains animaux est capable de produire des réactions chimiques générant de la lumière, tandis que d'autres ont développé une symbiose avec des bactéries bioluminescentes qu'ils absorbent et qui vivent ensuite sur ou dans leur organisme en émettant de la lumière. Quant au sagre commun et au squalo liche, ils ont recours à une combinaison d'hormones et de neurotransmetteurs⁹⁶.

Sous la zone bathypélagique, la plaine abyssale descend jusqu'à 6 000 m de profondeur, puis la zone hadale s'étend jusque dans les fosses et canyons océaniques les plus profonds. Dans ces profondeurs extrêmes, on trouve certaines espèces d'étoiles de mer, des vers tubicoles et d'autres invertébrés. Parmi les espèces de poissons recensés, citons la limace des mers des Mariannes (*Pseudoliparis swirei*), qui a été filmée à 8 178 mètres de profondeur dans la fosse des Mariannes. À ce jour, les scientifiques n'expliquent pas comment ce poisson supporte la pression extrême de ces profondeurs, qui serait comparable à celle d'un éléphant debout sur votre pouce⁹⁷. D'importantes concentrations de limaces des mers des Mariannes, principal prédateur de la fosse des Mariannes, ont été observées alors qu'elles se nourrissaient de bancs d'amphipodes⁹⁸.



Viminella flagellum (gorgones
fouets) à 250-300 m de
profondeur, Açores

© Greenpeace/ Gavin Newman

Plancher océanique/ habitats benthiques

Jusqu'à récemment, on pensait les grands fonds marins relativement dépourvus de vie. Or, les recherches dans les fonds pélagiques ne cessent de contredire cette idée reçue.

Talus continental

Le talus continental s'étend du rebord du plateau continental jusqu'à la plaine abyssale et englobe une variété d'habitats aux différentes caractéristiques physico-chimiques, géologiques et biologiques spécifiques. Essentiellement constitué de sédiments provenant de l'érosion survenue sur la terre et sillonné de canyons sous-marins et de glissements de sédiments, le talus continental présente une inclinaison généralement comprise entre 1 et 10 degrés. Entre 3 000 et 4 000 m de profondeur environ, l'inclinaison de la pente décroît progressivement (c'est ce qu'on appelle parfois le glacis continental) jusqu'à ce que les fonds marins deviennent relativement plats au début de la plaine abyssale⁹⁹.

Le talus continental présente différents types de substrats (sédiments meubles, rochers et parois rocheuses exposées) fournissant une grande variété de surfaces sur lesquelles différentes espèces peuvent s'installer. Cette zone peut donc abriter une abondante vie marine. En effet, lorsque les conditions océanographiques sont favorables, par exemple lorsqu'une grande quantité d'éléments nutritifs tombe depuis des eaux riches moins profondes, ou remonte depuis les profondeurs des océans dans des upwellings, le talus continental peut alors offrir un habitat à une foisonnante biodiversité.

Canyons sous-marins

Les canyons sous-marins sont creusés dans la marge continentale et certaines îles océaniques. On dénombre plus de 9 000 grands canyons dans le monde, recouvrant 11,2% des talus continentaux¹⁰⁰. Chacun d'entre eux présente une topographie escarpée, complexe et unique, constituant des types d'habitats allant des parois et affleurements rocheux aux sédiments meubles¹⁰¹. Deux des plus grands canyons sous-marins au monde, Zhemchug et Pribilof, creusent le rebord du plateau continental dans le sud-est de la mer de Béring. Mesurant 2,6 km de profondeur, le Zhemchug est plus profond que le Grand Canyon (1,83 km de profondeur). Tous les canyons font office de conduits qui charrient des matières premières le long des talus continentaux depuis les fertiles plateaux continentaux jusqu'au plancher océanique plus stable.

De par leurs caractéristiques, les canyons sous-marins rassemblent souvent une biodiversité riche et une grande diversité d'espèces. Ainsi, on y trouve parfois des champs d'éponges et des coraux d'eaux froides, et des espèces intéressantes d'un point de vue commercial tels que des

langoustes, crabes, crevettes, colins, tiles et plies. Pour ces espèces, entre autres, les canyons constituent des lieux de frai et des pouponnières¹⁰². Ils peuvent également attirer certains cétacés : une étude récente indique en effet que certains odontocètes s'y rassembleraient tout au long de l'année, car certaines proies s'y concentrent parfois. En revanche, les mysticètes (baleines à fanons) ne passeraient dans les canyons que de manière saisonnière¹⁰³.

Plaines abyssales

Sous le talus continental, entre 3 000 et 6 000 m de profondeur, se trouve la vaste plaine abyssale, recouverte de sédiments. Loin du rivage, les sédiments s'accumulent à mesure que les organismes morts et les déjections (formant la neige marine) tombent depuis la zone épipélagique. Sous les zones de surface où la productivité est importante, les sédiments peuvent s'accumuler de manière relativement rapide, mais en haute mer, au-dessus des grandes plaines abyssales, l'accumulation de sédiments est en général particulièrement lente. Par exemple, dans la plaine abyssale de Porcupine, où les sédiments sont presque exclusivement d'origine océanique, on a enregistré une vitesse de sédimentation d'environ 0,14 cm par an¹⁰⁴.

Si l'on estime que la biomasse des plaines abyssales est relativement réduite, la biodiversité y est en revanche riche. En raison de l'homogénéité relative de l'écosystème, les larves, les jeunes et les adultes des espèces abyssales peuvent dériver sur d'immenses distances ; en conséquence, les plaines abyssales abritent potentiellement moins d'espèces endémiques que d'autres habitats des grands fonds¹⁰⁵. Outre une kyrielle de microbes, les plaines abyssales comptent une multitude de petits invertébrés qui vivent dans le plancher océanique



Bactéries *chimitrophes* sur une carcasse de baleine, mollusques *vesicomidae*, crabes *Galatheoidea*, polynoidés et autre invertébrés.
© NOAA/Craig Smith, University of Hawaii

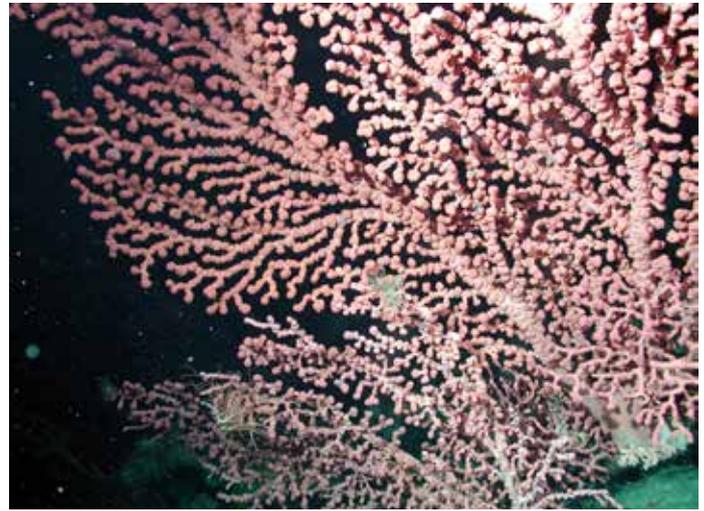
ou fouissent ce dernier, notamment des nématodes, des vers polychètes, des crustacés et des mollusques. Ainsi, une anémone transparente (*Losactis vagabunda*) creuse des tunnels dans les sédiments pour se nourrir de vers pouvant atteindre six fois sa propre masse¹⁰⁶. Sur le plancher, on trouve des animaux plus grands tels le concombre de mer, l'ophiure, l'oursin, des décapodes et des poissons. Les substrats durs hébergent également des crinoïdes, des éponges et des anthozoaires¹⁰⁷.

Ces dernières années, les scientifiques ont beaucoup appris sur les dynamiques à l'œuvre dans les communautés des plaines abyssales. Ils ont notamment découvert que certains phénomènes ponctuels, comme une prolifération d'algues ou la mort de salpidés, constituent des festins épisodiques pour les communautés du plancher océanique, pouvant les nourrir pendant des années, voire des décennies¹⁰⁸.

On se représente souvent la plaine abyssale comme un milieu plat. Or, la plaine abyssale de Porcupine, au large de l'Irlande dans l'océan Atlantique, présente en réalité une succession de collines ondulantes de quelques centaines de mètres de hauteur. Bien que ces collines soient peuplées des mêmes espèces que les plaines plates, elles sont présentes dans des proportions différentes dans les plaines et dans les collines, les premières concentrant davantage d'animaux plus petits et les dernières des organismes plus grands. D'après les recherches, la biomasse des espèces des collines représente plus de trois fois celle des plaines¹⁰⁹. Si ce schéma reste valable dans toute la plaine abyssale de Porcupine, la biomasse pourrait alors y être deux fois plus importante que ce qui avait été estimé. Cela viendrait bouleverser notre compréhension fondamentale de la fonction des écosystèmes dans ces régions¹¹⁰.

LES CARCASSES DE BALEINES, SOURCES DE VIE

La présence de carcasses de baleines qui se déposent au fond des océans fournit un apport significatif en éléments nutritifs organiques à des endroits localisés. Ces derniers attirent des organismes spécialisés qui se nourrissent successivement de la chair et des os en décomposition, pendant des mois voire des années. Les premiers sur place sont les charognards, tels les myxines et les laimargues dormeurs, qui dévorent les tissus mous. Viennent ensuite des opportunistes qui colonisent les os et les sédiments alentour. Parmi les spécialistes des carcasses de baleines, on trouve l'étonnant ver « mangeur d'os » (*Osedax spp.*), recensé pour la première fois en 2002 sur les os d'une baleine grise (*Eschrichtius robustus*) à près de 3 000 m de profondeur. Ces vers dits « zombies » dissolvent les os grâce à un acide sécrété par leur peau qui libère la graisse et les protéines, lesquelles sont alors digérées par une bactérie symbiotique. Enfin, le « stade sulfophylique » survient



Gorgones du mont sous-marin Davidson
© NOAA and MBARI

lorsque les bactéries anaérobies dégradent les sédiments enrichis en matière organique ainsi que le squelette riche en lipides, processus produisant du sulfure d'hydrogène. Le sulfure permet alors la prolifération de communautés sulfophiles de bivalves, fissurelles et autres animaux, dont certains vivent également autour des cheminées hydrothermales ou des suintements froids. Cette découverte a poussé les scientifiques à émettre l'hypothèse selon laquelle ces carcasses de baleines pouvaient servir d'habitat-relais aux espèces logeant autour des cheminées pour coloniser d'autres zones¹¹¹.

Réseau des dorsales médio-océaniques

Totalisant 65 000 km de longueur et immergées à plus de 90 %, les dorsales médio-océaniques constituent la plus longue chaîne de montagnes au monde. Situées en moyenne à 2 500 mètres de profondeur¹¹² et présentes dans tous les océans du globe, ces crêtes se forment lorsque deux plaques tectoniques s'éloignent l'une de l'autre, créant des fissures. Les séismes et l'activité volcanique, importants le long de ces plaques divergentes, font remonter de la roche en fusion par ces fissures, qui forme une nouvelle croûte océanique aux extrémités des plaques. La topographie de chaque dorsale dépend de la vitesse de déplacement des plaques concernées. Un rift lent, comme la dorsale médio-atlantique, présente une topographie escarpée irrégulière et un profil relativement étroit, contrairement à une dorsale rapide, telle la dorsale est-pacifique, au profil plus large et aux pentes plus douces.

Monts sous-marins

Les monts sous-marins, essentiellement d'origine volcanique, se situent en général à quelques centaines de kilomètres des dorsales médio-océaniques. Ils sont formés par l'activité tectonique qui soulève la croûte océanique le long des plaques qui se déplacent lentement ou très lentement. Les véritables monts sous-marins s'élèvent à plus de 1 000 m du fond marin, tandis que les structures mesurant entre 500 et 1 000 m sont appelées des monticules, et celles inférieures à 500 m des collines¹¹³.

Selon certaines estimations, les monts sous-marins recouvrent environ 4,7% des fonds océaniques et les monticules 16,3%, dont un nombre disproportionné se situe dans l'océan Austral.

Ces 25 dernières années, notre connaissance de l'écologie des monts sous-marins a progressé grâce à des études qui mettent en lumière les communautés et processus de ces habitats¹¹⁴. Les monts sous-marins forment des sortes d'îlots dans des fonds marins moins profonds entourés de grands fonds. Jusqu'à récemment, les scientifiques pensaient qu'ils abritaient un nombre extrêmement élevé d'espèces endémiques, car un très grand nombre de nouvelles espèces étaient recensées à chaque fois qu'un nouveau mont sous-marin était exploré. Toutefois, plus le nombre de monts sous-marins étudiés a augmenté, plus il est apparu que certaines espèces étaient réparties sur de grandes distances et présentaient un haut niveau de connectivité sur de vastes zones géographiques. À l'inverse, certains animaux peuplant les monts sous-marins, notamment de nombreux invertébrés sessiles benthiques, sont faiblement dispersés et présentent donc une répartition restreinte^{115, 116}.

Ainsi, si les monts sous-marins sont souvent perçus comme des oasis de biodiversité en haute mer, la richesse de cette biodiversité est variable et n'est pas toujours supérieure à celle du talus continental en termes de nombre d'espèces¹¹⁷. Des facteurs multiples influencent la productivité et la composition des monts sous-marins, mais d'une manière générale, ces écosystèmes abritent des communautés benthiques diverses et d'abondantes populations halieutiques¹¹⁸. De fait, les monts sous-marins ne peuvent pas être considérés comme une entité à part entière, car les différences d'emplacement, de profondeur et de morphologie, et la manière dont ils interagissent avec des courants réguliers ou variables, donnent naissance



à des mécanismes différents pouvant engendrer une meilleure productivité primaire au-dessus du mont. C'est le cas par exemple lorsque le plancton et les matières organiques en suspension disponibles autour du mont sous-marin fournissent une nourriture abondante à ses communautés benthiques et benthopélagiques¹¹⁹.

Les pentes abruptes associées à de forts courants, qui caractérisent bon nombre de monts sous-marins, apportent un substrat dépourvu de sédiment aux coraux, crinoïdes, hydroïdes, ophiuroïdes et éponges, souvent omniprésents dans ces zones et qui se nourrissent de particules en suspension. Certaines de ces espèces, telles que les coraux d'eaux froides, forment des récifs et des buissons fournissant des habitats diversifiés à d'autres animaux. Une étude récente du mont sous-marin Annan, dans l'Atlantique équatorial, réalisée à l'aide d'un appareil télécommandé, a ainsi recensé plus de 30 000 animaux vivant à la surface du mont.

De nombreux prédateurs pélagiques et benthopélagiques rôdent dans les parages des monts sous-marins, notamment en raison des opportunités de nourriture qu'ils offrent. L'un des processus contribuant à alimenter les réseaux trophiques des monts sous-marins consiste à concentrer et à piéger le micronecton, qui migre verticalement, vers le sommet du mont, comme cela semble être le cas pour les monts Condor et Gigante dans les Açores¹²⁰. Les espèces migratoires nocturnes qui nagent activement ou se laissent porter passivement vers la surface au-dessus du sommet et des pentes sont parfois retenues à la surface par les courants, où elles servent de nourriture à de nombreuses espèces marines.

Certains thons, marlins, requins, mammifères et oiseaux marins ont déjà été repérés dans les environs de monts sous-marins¹²¹. Ces derniers peuvent en effet servir d'étapes à certaines espèces migratoires, notamment aux baleines à bosse qui viennent s'y ravitailler en allant de leurs sites de reproduction en Nouvelle Calédonie jusqu'à l'océan Austral¹²².

Ces 25 dernières années, notre compréhension des écosystèmes des monts sous-marins s'est considérablement accrue. Cependant, il faut tenir compte de la part infime des monts sous-marins étudiée jusqu'à présent, estimée à seulement 0,002%, sur les quelque 170 000 existants d'après les estimations¹²³. Pour mieux comprendre la complexité de ces habitats, la communauté internationale devra déployer des efforts considérables nécessitant l'intervention d'équipes pluridisciplinaires sur de nombreuses années.

**Cheminées hydrothermales,
Açores**
© Greenpeace/Gavin
Newman

Cheminées hydrothermales

Les cheminées hydrothermales et les communautés biologiques spécifiques qui les peuplent ont été découverts en 1977 à l'occasion d'une expédition dans les îles Galapagos du submersible habité *Alvin*. L'équipe ne comportait pas de biologiste, car personne n'imaginait que la vie marine puisse prospérer dans l'environnement extrême qui devait être étudié¹²⁴. L'expédition s'est en réalité trouvée face à des communautés abondantes de bivalves, de crabes et de vers tubicoles géants (*Riftia pachyptila*) atteignant la taille d'un humain, près des cinq événements hydrothermaux découverts.

Ces cheminées hydrothermales se forment dans les régions volcaniques le long des dorsales océaniques, où deux plaques tectoniques se rapprochent ou s'éloignent l'une de l'autre. L'eau de mer froide s'infiltré dans les fissures du fond marin où elle est chauffée par le magma situé en dessous, à des températures extrêmes atteignant parfois 400 °C. Avec la chaleur, des réactions chimiques se produisent : des minéraux sont extraits des roches souterraines, dissolus et concentrés. Lorsqu'elle rencontre un obstacle dans sa percolation vers le sous-sol, l'eau chargée en minéraux est alors éjectée vers le haut à travers des événements. Quand le liquide des événements, chargé de particules, entre en contact avec l'eau de mer à la température proche de zéro, les minéraux à grains fins refroidissent, provoquant une précipitation qui forme des cheminées appelées fumeurs. Les « fumeurs noirs », composés de dépôts noirs de sulfure de fer, peuvent mesurer des dizaines de mètres de haut, tandis que les « fumeurs blancs », moins chauds, accumulent des dépôts de baryum, de calcium et de silicone, de couleur blanche.

Les cheminées des grands fonds sont généralement regroupées en champs dont la taille varie de quelques centaines de mètres de long seulement à plusieurs kilomètres¹²⁵. Ils peuvent être séparés les uns des autres de quelques kilomètres à peine, ou de plusieurs centaines de kilomètres si aucune activité hydrothermale ne se produit entre les deux. De fait, les champs de cheminées et les communautés biologiques qu'elles abritent constituent des îlots isolés sur le fond marin.

Les communautés biologiques des événements hydrothermaux fabriquent de la matière organique grâce au processus de chimiosynthèse, au cours duquel des bactéries chimiosynthétiques tirent de l'énergie des liaisons chimiques du sulfure d'hydrogène. Certaines de ces bactéries sont en suspension dans la colonne d'eau, tandis que d'autres forment de denses tapis ou des biofilms sur des surfaces rocheuses ou animales, dont se nourrissent les copépodes, amphipodes et crevettes. D'autres bactéries chimiosynthétiques ont développé des relations symbiotiques avec la faune des cheminées. Ainsi, le ver tubulaire des événements, dépourvu de bouche et de tube digestif, dépend entièrement de bactéries symbiotiques qui vivent dans ses tissus pour se nourrir. Les crevettes, que



Cheminées hydrothermales, Açores
© Greenpeace/Gavin Newman

l'on trouve en fortes concentrations autour des cheminées hydrothermales le long de la dorsale médio-Atlantique, dépendent elles aussi de bactéries symbiotiques qui se développent dans leurs cavités branchiales hypertrophiées, à l'extérieur de leur carapace, et des particules minérales qu'elles ingèrent¹²⁶. Si les bivalves *Vesicomysidae* et les moules *Bathymodiolus* vivant autour des événements tirent elles aussi une partie de leur énergie de bactéries symbiotiques, ce sont également eux-mêmes des animaux filtreurs, bien que la taille réduite du système digestif des bivalves semble indiquer qu'ils sont plus dépendants des bactéries que les moules. Dans certains écosystèmes de cheminées hydrothermales, on trouve des prédateurs de plus grande taille, comme le zoarcidé (*Thermarces cerberus*), un poisson qui se nourrit de patelles et de crustacés¹²⁷. Les crabes et galathées ont une préférence pour les bivalves et les vers tubulaires, à l'instar des différents poulpes. Lorsque l'activité des cheminées commence à décliner, les décapodes, gastropodes et copépodes charognards prennent alors le relais.

Les événements hydrothermaux sont parfois qualifiés d'oasis des profondeurs en raison de la forte densité d'espèces exotiques qu'ils abritent. Si la recherche en est encore à ses débuts, le schéma général qui se dessine penche pour une biodiversité faible mais avec un degré d'endémisme très élevé, estimé à environ 85%¹²⁸. Néanmoins, les nouvelles études réalisées sur les cheminées hydrothermales mettent constamment au jour de nouvelles espèces, que ce soit sur des sites déjà étudiés ou encore inexplorés¹²⁹.

La découverte des écosystèmes des événements hydrothermaux a suscité l'intérêt du secteur de l'exploitation minière en eaux profondes, qui cherche à extraire de précieux minerais des dépôts de sulfure massifs formés dans les fonds marins par les cheminées et débris de celles-ci. En outre, les bioprospecteurs étudient le potentiel des applications commerciales des ressources génétiques découvertes dans les organismes qui ont évolué pour s'adapter à ces conditions extrêmes.



■ ■ LES BALEINES SÉQUESTRENT
LE CARBONE SUR UNE ÉCHELLE
TEMPORELLE ÉQUIVALENTE À CELLE
DES ARBRES SUR TERRE"

SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES

Les écosystèmes fournissent un éventail de biens et de services, de manière directe et indirecte, qui bénéficient aux humains : les services écosystémiques. Ces trente dernières années, la recherche a commencé à révéler l'ampleur de ces services et la façon dont ils sont entretenus, grâce à la bonne santé et au bon fonctionnement des écosystèmes et des organismes vivants qui les peuplent. En conséquence, plus notre compréhension de l'écologie de la haute mer grandit, plus nous sommes en mesure d'apprécier l'immense valeur sociale et économique des services que ses écosystèmes nous fournissent.

En 2005, l'évaluation des écosystèmes pour le Millénaire (ou Millenium Ecosystem Assessment - MEA), un projet initié par les Nations unies, a élaboré un cadre de classification des services écosystémiques faisant désormais référence¹³⁰. Ce cadre classe les services écosystémiques en quatre groupes fonctionnels : les services d'approvisionnement en nourriture, ressources génétiques et autres matières premières ; les services de régulation, notamment du climat et de la qualité de l'eau ; et les services culturels regroupant les loisirs, l'éducation et le patrimoine culturel. Le quatrième groupe, les services de support, correspond aux processus nécessaires à la production de tous les autres services écosystémiques, tels que le cycle des éléments nutritifs et la production primaire de biomasse. Ignorer la valeur de l'une de ces catégories, et en particulier de cette dernière, reviendrait à sous-estimer de manière considérable la valeur des grands fonds océaniques pour l'humanité¹³¹.



Phytoplancton, mer de Béring.
Entre 0 et 200 mètres de profondeur,
le phytoplancton transforme le CO₂
dissous en carbone organique,
grâce à la photosynthèse.
© Geoff Schmaltz/NASA

En 2014, un rapport rédigé pour la Global Ocean Commission a recensé quinze services écosystémiques, parmi lesquels deux, fournis par la haute mer, ont été classés dans une catégorie à part de services d'habitats, et synthétisés dans le tableau ci-dessous¹³².

Synthèse des services écosystémiques fournis par la haute mer

Catégories de services écosystémiques	Définition
Services d'approvisionnement	
1. Poissons et fruits de mer	Ensemble de la faune et de la flore marines disponibles prélevées à des fins de consommation humaine.
2. Matières premières	Matières extraites de la haute mer, issues de processus de médiation biologique, à l'exception des matières relevant de la catégorie 5.
3. Ressources génétiques	Matières extraites de la haute mer à des fins d'utilisation non marines et non médicinales, à l'exception de celles ayant une valeur pour la recherche et qui relèvent de la catégorie 15.
4. Ressources médicinales	Matières extraites de la haute mer pour leurs qualités médicinales, à l'exception de celles ayant une valeur pour la recherche et qui relèvent de la catégorie 15.
5. Ressources ornementales	Matières extraites de la haute mer à des fins de décoration, etc.
Services de régulation	
6. Purification de l'air	Élimination par la haute mer des polluants atmosphériques naturels et anthropogéniques.
7. Régulation du climat	Contribution des éléments biotiques de la haute mer au maintien d'un climat favorable via la production et la séquestration de substances ayant une influence sur le climat.
8. Traitement des déchets	Bioremédiation par la haute mer des polluants d'origine anthropogénique.
9. Contrôle biologique	Contribution de la haute mer au maintien de la bonne dynamique naturelle des populations laquelle participe à la résilience des écosystèmes en entretenant les réseaux trophiques.
Services rendus par les habitats	
10. Gestion du cycle de vie	Contribution de la haute mer au maintien des espèces migratoires via la fourniture d'habitats essentiels pour la reproduction et la maturation des jeunes.
11. Protection du patrimoine génétique	Conservation du patrimoine génétique viable via les processus de sélection naturelle/ d'évolution.
Services culturels	
12. Loisirs et divertissements	Opportunités de loisirs et divertissements qui dépendent de l'état de la haute mer.
13. Valeur esthétique	Contribution à la surface ou au sous-sol d'un paysage. Cela inclut les expériences d'enrichissement spirituel mais exclut les éléments relevant des catégories 2, 14 et 15.
14. Inspiration pour la culture, l'art et le design	Valeur intrinsèque des caractéristiques environnementales inspirant la culture, l'art et/ou le design. Cela exclut les éléments relevant des catégories 5, 12, 13 et 15.
15. Informations pour le développement cognitif	Contribution à l'éducation, à la recherche et à l'apprentissage. Cela inclut la contribution de la haute mer aux recherches relevant des catégories 3 et 4.

Source : Rogers et al. (2014)

Si la liste des services écosystémiques fournis par la haute mer donne une idée de leur importance, il reste néanmoins difficile de quantifier et d'estimer la valeur réelle de ces services, et ce pour plusieurs raisons. La première est le manque d'informations scientifiques concernant la manière dont un service écosystémique est fourni ainsi que le niveau global de prestation de ce service. Ensuite, en cas de services fournis par la haute mer mais aussi par les eaux côtières ou les ZEE, il reste complexe de discerner avec précision quelle part des bénéfices attribuer à la haute mer. Enfin, il faut tenir compte du fait qu'un service écosystémique puisse éventuellement avoir un effet néfaste sur un ou plusieurs autre(s) de ces services, comme c'est notamment le cas avec l'absorption du CO₂ atmosphérique par les océans, un processus qui contribue à leur acidification. On sait que ce phénomène a des conséquences négatives sur les organismes marins.

Malgré les difficultés décrites ci-dessus et les problèmes inhérents à un processus que certains perçoivent comme une « marchandisation de la nature », des efforts croissants sont actuellement déployés afin de comprendre la valeur économique des écosystèmes marins¹³³. Exprimer la valeur des services écosystémiques en unités monétaires pourrait s'avérer être un bon moyen pour sensibiliser les responsables politiques à l'importance des écosystèmes et de la biodiversité. Plus précisément, ce type d'outil pourrait contribuer à améliorer substantiellement la gestion des ressources marines critiques, à orienter la gouvernance, à réglementer la politique naissante en matière d'océans et surtout à fournir une meilleure compréhension des potentiels défis économiques résultant des modifications rapides que connaît actuellement le milieu marin¹³⁴.

D'après certaines estimations, les biomes côtiers et océaniques représenteraient les deux tiers des écosystèmes qui constituent le capital naturel de la planète¹³⁵. Selon une étude publiée en 2015 par le WWF, nos océans vaudraient au moins 24 billions de dollars US et les biens et services rendus par les milieux côtiers et marins se monteraient à environ 2,5 billions de dollars chaque année¹³⁶. En termes de produit intérieur brut (PIB), ces chiffres placent les océans au 7^e rang de l'économie mondiale. Il convient par ailleurs de noter qu'il ne s'agit ici que d'une sous-estimation, puisque l'analyse n'a pas inclus les richesses pour lesquelles aucune donnée n'était disponible, ni la valeur des actifs incorporels comme le rôle de l'océan dans la régulation du climat, la production de l'oxygène ou la stabilisation des températures sur notre planète.

En outre, notre approche des services écosystémiques fournis par le milieu marin s'est jusqu'à présent essentiellement concentrée sur l'évaluation des écosystèmes côtiers par opposition aux zones de haute mer. C'est ce que démontre notamment une analyse de la valeur des services écosystémiques de 10 grands biomes exprimée en unités monétaires, laquelle s'est appuyée sur 168 estimations pour les zones humides des terres intérieures et seulement 14 pour les écosystèmes marins¹³⁷.

Alex Rogers et ses collègues ont toutefois produit des estimations pour la séquestration naturelle du carbone par la haute mer, l'un des principaux services écosystémiques rendus par cette dernière. Ainsi, selon eux, le bénéfice social total du stockage du carbone en haute mer s'élèverait à 148 milliards de dollars US par année en dollars constants de 2010 (estimation moyenne d'une fourchette allant de 74 à 222 milliards de dollars US)¹³⁸.

Puits naturels de carbone, un service écosystémique vital

Les océans jouent un rôle crucial dans le cycle du carbone et nous fournissent par conséquent un service écosystémique vital. Une série de processus complexes transfèrent le dioxyde de carbone contenu dans l'atmosphère de la surface des océans vers ses eaux profondes, où il s'y retrouve séquestré pour des milliers d'années. Ces zones de l'océan, qui stockent une quantité de carbone 50 fois supérieure à celle présente dans l'atmosphère et 10 fois supérieure à celle piégée par l'ensemble de la végétation, des sols et des microbes terrestres confondus, constituent le plus grand réservoir de carbone sur terre¹³⁹. Cette capacité à capturer et stocker le carbone contribue à ralentir le taux d'augmentation du CO₂ dans l'atmosphère et les changements de température, ainsi qu'à atténuer d'autres conséquences imputables aux bouleversements climatiques. En d'autres termes, les océans jouent un rôle essentiel dans la lutte contre les effets des changements climatiques. D'après les estimations, environ un quart du CO₂ émis par l'être humain au cours des 20 dernières années a été absorbé par les océans¹⁴⁰. Malheureusement, en absorbant ces émissions anthropogéniques de dioxyde de carbone, les océans voient leur PH baisser et leur acidité augmenter, un phénomène qui a des conséquences inquiétantes pour les écosystèmes marins (voir la section sur l'acidification des océans).

L'absorption et la séquestration du carbone par les océans résultent de processus aussi bien physiques que biologiques. Si le carbone existe sous forme organique et inorganique, la grande majorité du carbone océanique se présente sous la forme de composés inorganiques (acide carbonique, ions bicarbonates et ions carbonates), du fait de la dissolution du CO₂ atmosphérique dans les eaux superficielles de l'océan. Dans le cadre de ce processus, le dioxyde de carbone n'est pas réparti de manière égale et certains océans affichent des concentrations en CO₂ dissous plus élevées que d'autres. L'Atlantique nord, par exemple, stocke 23 % de dioxyde de carbone tandis que l'océan Austral n'en séquestre que 9 % et le Pacifique, bien qu'étant le plus grand océan du monde, n'en absorbe que 18 % (Feely et al., 2001)^{141,142}. Les courants océaniques, en transportant les eaux chaudes des régions tropicales vers les régions plus froides des pôles, permettent à ces eaux, pendant qu'elles refroidissent, d'absorber du CO₂ atmosphérique. Ce CO₂ se dissout deux fois plus facilement

dans les eaux froides des pôles que dans les eaux chaudes près de l'Équateur. En se mélangeant aux eaux profondes de la haute mer, les eaux froides des pôles entraînent vers le fond le CO₂ dissous où il restera séquestré pendant des centaines, voire des milliers d'années.

Les organismes marins jouent également un rôle crucial dans le cycle global et la séquestration du carbone dans les fonds marins, via le phénomène de pompe à carbone biologique. Dans les couches supérieures de l'océan situées à moins de 200 m de profondeur et éclairées par la lumière du soleil, le phytoplancton, par le truchement de la photosynthèse, transforme le CO₂ dissous en carbone organique et contribue ainsi à développer les réseaux trophiques. Les espèces marines de tous les maillons de la chaîne alimentaire sont ainsi essentielles pour la rétention, le cycle et le stockage à long terme du carbone bleu et son transfert de la surface vers les profondeurs et les sédiments. Une large part du carbone fixé par les organismes est cependant restituée à terme dans l'atmosphère lors de son passage à travers les réseaux trophiques, où il est reconverti en CO₂ via le phénomène de la respiration.

Ainsi, seule une petite fraction des matières organiques formées dans les couches supérieures de l'océan se transforment en carbone organique en particules (COP), lequel est ensuite transporté dans les eaux profondes (>1 000 m) pour y être en partie séquestré pendant de très longues périodes. Il faudra ensuite des millions d'années pour que la dégradation microbienne des matières organiques libère des hydrates de gaz et que le carbone issu du plancton décomposé se transforme en pétrole par le biais de la minéralisation. On estime ainsi qu'environ 1% du carbone organique produit à la surface des océans est enterré dans les sédiments¹⁴³.

Par ailleurs, de nombreuses espèces calcifiantes telles que les coccolithophoridés (type de phytoplancton), les ptéropodes (type de zooplancton) et les foraminifères (animaux unicellulaires essentiellement benthiques mais pouvant aussi être planctoniques) constituent d'importants

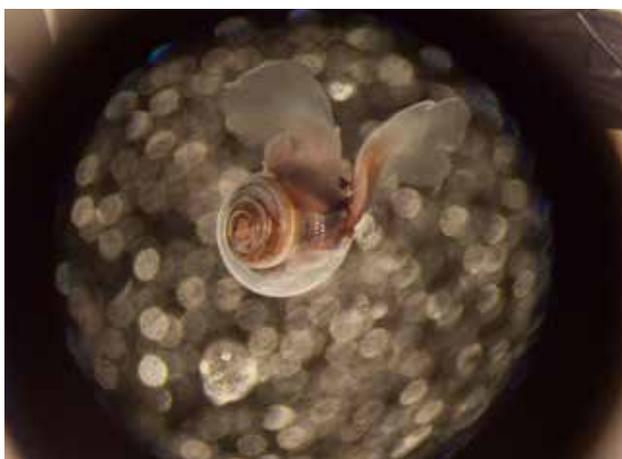


Krill, océan Austral
© Christian Åslund/Greenpeace

réservoirs à carbone : ils transportent le carbonate de calcium à travers les colonnes d'eau jusque dans les fonds marins et les sédiments où ce dernier sera stocké pendant de très nombreuses années¹⁴⁴. Les coccolithophoridés évoluent au sein d'une espèce d'armure microscopique de carbonate de calcium. De même, certains ptéropodes, parfois appelés papillons de mer, possèdent une coquille en carbonate de calcium tandis que les foraminifères sont dotés d'un test (coquille minérale) également composé de carbonate de calcium. Bien que ce processus de calcification en lui-même conduise à relâcher du CO₂ dans les océans via la conversion du carbone inorganique dissous, une quantité équivalente de carbone se retrouve dans la coquille de ces organismes, dont certaines rejoindront le fond des océans. Enfin, les processus tectoniques générant températures élevées et forte pression transforment les sédiments de carbonate de calcium en calcaire.

Si les coquilles des organismes planctoniques fixant le calcium sont la source principale de carbonate de calcium présent dans les océans, les poissons osseux (contrairement aux espèces cartilagineuses comme le requin et la raie) précipitent quant à eux le calcium en cristaux de carbonate dans leurs intestins avant de les rejeter dans leurs excréments. Selon les estimations, 3 à 15% de la quantité totale de carbonate de calcium présente dans les océans seraient ainsi produits par les poissons qui jouent donc un rôle dans le maintien de l'équilibre du PH des océans¹⁴⁵. La pompe à carbone biologique est donc un processus complexe dans lequel l'ensemble des espèces des écosystèmes marins ont un rôle à jouer.

En effet, les populations mésopélagiques (voir la partie sur la zone mésopélagique) participent également de manière essentielle à la séquestration du carbone, puisque leurs allers-retours entre les eaux profondes et la surface des océans pour se nourrir a pour effet de déplacer le carbone vers les fonds marins. En outre, certains organismes mésopélagiques jouent un double rôle : d'une part en transformant le carbone organique en excréments, lesquels coulent plus rapidement vers le fond que le carbone lui-même, et d'autre part, en fragmentant les grosses particules agglomérées en particules plus



Thecosomata dans un laboratoire de recherche marine, Ny-Alesund, Norvège
© Nick Cobbing/Greenpeace

fines coulant plus lentement^{146,147}. Dans l'océan Austral, par ailleurs, le krill antarctique, de par son très grand nombre, son importante biomasse et ses nombreuses migrations quotidiennes dans les colonnes d'eau, joue un rôle déterminant dans le cycle du carbone^{148,149}. La densité élevée des colonies de krill donne lieu à une pluie de déchets fécaux (neige marine) qui, en raison de leur grande quantité, échappent en partie au zooplancton détritique et peuvent ainsi descendre passivement à travers la zone mésopélagique supérieure (couches intermédiaires de l'océan situées entre 200 et 1 000 m de profondeur). Ce phénomène expliquerait ainsi la quantité élevée d'excréments de krill recueillie dans les pièges à sédiments posés dans les zones mésopélagiques et bathypélagiques supérieures (jusqu'à 4 000 m de profondeur). Des recherches récentes indiquent par ailleurs que les excréments de krill constitueraient l'une des chevilles ouvrières du flux de carbone qui se produit au printemps dans la zone marginale des glaces des Orcades du Sud¹⁵⁰.

Le rôle des grands vertébrés dans le cycle et la séquestration du carbone des océans est en revanche peu compris. Depuis une dizaine d'années toutefois, des recherches permettent d'éclairer en quoi l'activité des vertébrés et les processus vitaux naturels fournissent des voies, des pompes et des cascades trophiques qui renforcent l'absorption et le piégeage à long terme du carbone atmosphérique par le plancton et facilitent le transport du carbone biologique de la surface des océans vers les profondeurs et les sédiments¹⁵¹.

En effet, en évoluant à la fois horizontalement et verticalement dans l'environnement marin, les grands vertébrés entraînent eux aussi un déplacement du carbone. Si la biomasse des vertébrés marins stocke le CO₂ dans des puits temporaires, les plus gros de ces animaux et ceux qui ont la plus longue durée de vie, à l'instar des baleines, séquestrent le carbone sur une échelle temporelle équivalente à celle des arbres sur terre, soit des centaines d'années. Ainsi, d'après Andrew Pershing et ses collègues, les populations de grandes baleines stockeraient aujourd'hui 9,1×10⁶ tonnes de carbone de moins qu'avant l'existence de la pêche commerciale à la baleine. Par ailleurs, la reconstitution des populations baleinières permettrait d'absorber 1,6×10⁵ tonnes de CO₂ chaque année via la décomposition des carcasses des animaux sur les fonds marins (voir la partie sur les carcasses de baleines)¹⁵².

Les vertébrés marins contribuent également à renforcer l'absorption du carbone par le phytoplancton en mélangeant l'eau et les nutriments à travers la colonne d'eau lors de leurs déplacements, ce qui a pour effet de faire remonter les éléments nutritifs des eaux profondes vers la surface, par ailleurs pauvre en nutriments. D'après William Dewar de la Florida State University, le déclin de ce phénomène de brassage des nutriments dû à la décimation des populations de grands poissons et de baleines au cours des deux derniers siècles pourrait bien avoir eu des conséquences sur le climat¹⁵³.

Les grands cétacés sont donc particulièrement importants pour les écosystèmes puisqu'ils participent au maintien de leur santé en redistribuant des nutriments dans les océans à la fois verticalement et horizontalement¹⁵⁴. Ainsi, après s'être nourries dans les profondeurs, les baleines remontent à la surface pour respirer et libèrent à cette occasion des matières fécales, qui, à leur tour, vont fournir du fer et de l'azote aux microorganismes présents dans ces eaux superficielles. Il s'agit là aussi d'un mécanisme de pompe biologique. Chez certaines espèces de cétacés, telles que les baleines à bosse, un processus similaire, appelé processus de convection, a pu être observé, lequel consiste à transporter via leur urée, leurs peaux mortes et leur placenta l'azote et d'autres nutriments présents dans leurs riches aires d'alimentation près des pôles vers leurs zones de mise-bas, situées à faible latitude, et caractérisées par des eaux plus chaudes, pauvres en nutriments. Grâce à ce processus, les baleines contribuent donc à protéger les écosystèmes marins contre certains facteurs de déséquilibre et à améliorer les taux de productivité dans les lieux où elles se rassemblent pour se nourrir et mettre bas.

Par ailleurs, les études des écosystèmes végétaux côtiers (herbier marin, plantes des marais salés et mangroves) qui capturent et stockent le carbone atmosphérique mettent en avant le rôle crucial des prédateurs d'herbivores marins dans le maintien et l'augmentation des réserves de carbone bleu¹⁵⁵. Bien que le rôle des grands prédateurs dans le cycle du carbone et d'autres cycles biogéochimiques soit pas ou peu quantifié, le mouvement de certaines espèces marines telles que le marlin, le thon, le requin et la raie, qui parcourent de longues distances à travers les océans et peuvent plonger jusque dans les zones mésopélagiques voire bathypélagiques, suggère qu'à l'instar des poissons mésopélagiques et des baleines, ces populations ont une influence sur le cycle du carbone en haute mer¹⁵⁶.

Malgré les importantes incertitudes scientifiques concernant les quantités précises de carbone stockées dans de nombreux écosystèmes de haute mer, il ne fait aucun doute que ces écosystèmes sont l'une des clés de voûte du cycle et de la séquestration du carbone à court, moyen et long termes. Il convient par ailleurs de noter que la quantité de carbone présente dans l'océan ainsi que la quantité piégée dans les sédiments varient dans l'espace comme dans le temps. Le cycle du carbone est en effet un processus hautement dynamique, et certaines zones du plancher marin peuvent tour à tour jouer le rôle de puits ou de source de carbone selon la saison, la température de la surface de l'eau, les courants océaniques et les turbulences provoquées par les tempêtes. Aussi des études supplémentaires, et en particulier un suivi à long terme plus exhaustif sur le plan géographique, sont-ils nécessaires pour comprendre pleinement les processus responsables de ces changements¹⁵⁷.



Chalutier de fond, mer de Barents
© Nick Cobbing/Greenpeace

ÉTAT ACTUEL DES MENACES PESANT SUR LA HAUTE MER

En dépit de son étendue considérable, la haute mer est confrontée à un nombre croissant de menaces anthropogéniques telles que la pêche, le transport maritime, les produits chimiques, le plastique, la pollution sonore, l'exploitation minière et la bioprospection, qui viennent se conjuguer aux problèmes majeurs que constituent les changements climatiques et l'acidification des océans. En 2008, Ben Halpern et son équipe ont développé un modèle spatial multi-échelle spécifique aux écosystèmes, lequel a permis de synthétiser 17 ensembles de données mondiales relatifs aux facteurs anthropogéniques responsables du changement écologique de 20 écosystèmes marins. Ces derniers ont ainsi révélé que si aucune zone océanique n'était épargnée par l'influence humaine, 41% des océans étaient fortement mis en péril par de multiples facteurs¹⁵⁸. D'après cette étude, les eaux côtières des régions fortement industrialisées sont celles qui souffriraient le plus des conséquences de l'activité humaine, à l'instar de la mer du Nord, tandis que les eaux des hautes latitudes autour des pôles seraient les moins affectées, même si on y relève également la présence d'effets néfastes imputables au transport, à la pêche et aux changements climatiques.

La pêche en haute mer

La pêche fournit de la nourriture, des emplois, des moyens de subsistance ainsi que des richesses et joue un rôle crucial pour la sécurité alimentaire mondiale, à la fois de manière directe en tant que source d'éléments nutritifs essentiels, et indirecte en tant que source de revenus et donc, de nourriture¹⁵⁹. Pourtant, d'après une analyse récente des captures de la pêche hauturière et des données commerciales visant à déterminer la mesure dans laquelle cette pêche contribue à la production mondiale de poissons et de fruits de mer, la part totale des captures dans les eaux internationales représente seulement 4,2% de la production annuelle mondiale des pêches de capture marine¹⁶⁰. En outre, les flottes de pêche qui opèrent dans les zones ne relevant d'aucune juridiction nationale sont en grande majorité constituées de navires de groupes industriels appartenant à des pays riches^{161, 162}.

LA CRISE MONDIALE DE LA PÊCHE

La surexploitation commerciale des réserves halieutiques mondiales est telle que de nombreuses espèces sont désormais réduites à des fractions de populations. « Plus de la moitié des ressources halieutiques de la planète a été épuisée; un tiers supplémentaire est appauvri », a déclaré le Secrétaire général des Nations unies Ban Ki-moon en mai 2012¹⁶³. La précarité des réserves mondiales de poissons est par ailleurs largement reconnue par la FAO d'après laquelle le pourcentage de poissons pêchés à un niveau biologiquement insoutenable est passé de 10 % en 1974 à 33,1 % en 2015¹⁶⁴. Toujours d'après l'organisation, les stocks pêchés à des niveaux correspondant au rendement maximal durable (aussi appelés « stocks de poissons pleinement exploités ») représenteraient 59,9 % des réserves évaluées et les stocks (prétendument) sous-exploités, 7 %.

En outre, si la FAO estime que le total des captures dans les eaux maritimes était de 81,5 millions de tonnes en 2014, soit en légère augmentation par rapport aux deux années précédentes, d'après Daniel Pauly et Dirk Zeller, la méthode de calcul de l'organisation comporterait d'importantes failles ; en réalité, les prises des pêcheries marines mondiales auraient été plus élevées qu'annoncé et seraient actuellement en déclin^{165,166}. En effet, dans le cadre de leur travail en faveur du projet *Sea Around Us*, les deux scientifiques indiquent une diminution des ressources marines susceptible de conduire, si la tendance persiste, à une crise des ressources halieutiques mondiales d'ici le milieu du siècle¹⁶⁷. Enfin, d'après les toutes dernières estimations de la FAO, le total des captures marines mondiales aurait atteint 79,3 millions de tonnes en 2016, soit une diminution de près de 2 millions de tonnes par rapport aux 81,2 millions de tonnes estimées en 2015¹⁶⁸.

Malheureusement, la surpêche et les pratiques de pêche destructrices ont entraîné des effets extrêmement néfastes sur les populations mondiales de poissons et les écosystèmes marins, y compris en haute mer. Parmi les nombreux facteurs à l'origine des importants changements qui ont modifié l'industrie de la pêche au cours du siècle dernier et ainsi mené à la crise qui touche actuellement les pêcheries mondiales, la demande de fruits de mer compte parmi les principaux : en constante augmentation, celle-ci résulte, d'une part, de l'accroissement de la population mondiale et, d'autre part, de l'amélioration du développement économique et du niveau de vie qui permet à de nouvelles franges de la société devenues plus riches de consommer des produits de la mer. En outre, la demande supplémentaire d'huile et de farine de poisson afin d'approvisionner le secteur de l'aquaculture en pleine expansion et de produire de la nourriture pour le bétail semblerait suivre une tendance à la hausse¹⁶⁹. Pour satisfaire ces demandes, l'effort de pêche a dû être

massivement accru, notamment via le recours à des technologies de plus en plus sophistiquées telles que les chalutiers usines, les détecteurs de poissons utilisant une solution radar ou acoustique, ou encore les capteurs satellites embarqués¹⁷⁰. Par ailleurs, les transbordements en mer, consistant, pour un navire de pêche, à décharger ses prises sur un autre navire de pêche ou un navire frigorifique pour continuer à pêcher au lieu de rentrer au port, contribuent ainsi au phénomène de surpêche. Si cette pratique facilite également la pêche illicite, non déclarée et non réglementée (ou pêche INN) en brouillant l'origine des prises et en masquant les pratiques illégales, pire encore, elle favorise l'esclavage en mer, les équipages pouvant rester en mer pendant des mois voire des années sans jamais rentrer à terre¹⁷¹.

Une analyse de la capacité et de l'effort de pêche à l'échelon international réalisée entre 1950 et 2012 a ainsi révélé que les chiffres de ces deux indicateurs avaient continué à augmenter, en particulier en Asie et dans les pays en développement¹⁷². Comparée aux données de débarquement, cette augmentation de la capacité et de l'effort de pêche indique une diminution considérable de l'efficacité globale de la flotte de pêche mondiale, l'efficacité de la pêche en termes de tonnes de poissons sauvages marins débarqués par watt-jour d'effort de pêche étant aujourd'hui inférieure à ce qu'elle était en 1950, et ce malgré les progrès technologiques et l'expansion des zones de pêche au cours de cette période.

L'expansion géographique considérable des pêcheries au cours de la deuxième moitié du XX^e siècle, notamment en haute mer, s'explique en partie par la raréfaction des ressources halieutiques dans les eaux côtières. Une étude de 2010 souligne l'aspect mondial de cette expansion, des eaux côtières de l'Atlantique nord et du Pacifique ouest aux eaux de l'hémisphère sud en passant par la haute mer¹⁷³. Cette avancée des flottes de pêche vers le sud s'est produite à un rythme de quasiment un degré de latitude par an, et a été particulièrement rapide dans les années 1980 et au début des années 1990, une époque marquant le développement de la pêche en pleine mer. Ce n'est qu'à partir de 2005 que cette expansion a commencé à ralentir, laissant uniquement les eaux les plus inaccessibles et les moins viables commercialement, telles que l'Atlantique sud et les océans polaires, relativement peu fréquentées.

Début 2018, des chercheurs de la Dalhousie University ont produit dans le cadre d'un partenariat avec Global Fishing Watch, The University of California, Stanford University, National Geographic Society, SkyTruth et Google le tout premier jeu de données relatives aux activités mondiales de pêche industrielle collectées grâce aux systèmes d'identification automatique par satellite (AIS), à l'apprentissage machine et à la puissance de calcul¹⁷⁴. Les données ont révélé qu'au moins 55 % des océans étaient exploités par la pêche, soit une empreinte mondiale au moins quatre fois supérieure à celle de l'agriculture.

Il a par ailleurs été estimé que les navires de pêche avaient parcouru plus de 460 millions de kilomètres en 2016 – une distance équivalente à 600 allers-retours vers la lune¹⁷⁵.



Requin-baleine capturé involontairement par un senneur
© Greenpeace

LA RARÉFACTION DES POISSONS PRÉDATEURS

Si les espèces cibles sont victimes de surpêche, de nombreuses méthodes de capture modernes s'avèrent aussi particulièrement destructrices pour les habitats et pour une multitude d'organismes marins pêchés accidentellement. Ainsi le déclin de la biomasse de grands poissons prédateurs est-il l'une des conséquences les plus saisissantes de l'expansion de la capacité et de l'effort de pêche sur les écosystèmes marins au cours du siècle dernier. Une équipe de scientifiques désireuse de déterminer l'échelle de cet effondrement a donc procédé à l'analyse de plus de 200 modèles de réseaux trophiques publiés dans le monde incluant plus de 3 000 espèces : le résultat de cette étude montre qu'au cours de XX^e siècle, l'activité humaine a conduit à une réduction de plus de deux tiers de la biomasse des poissons prédateurs et que ce déclin alarmant s'est particulièrement aggravé à partir des années 1970¹⁷⁶. Parallèlement, cette raréfaction a eu pour effet d'accroître les populations de petits poissons de proie et par conséquent, d'intensifier la pêche des maillons inférieurs des réseaux trophiques.

Ce n'est que récemment, via l'utilisation de nouvelles technologies telles que le suivi par satellite et les systèmes d'identification automatique par satellite (AIS) et de surveillance des navires (VMS), qu'il a été possible de déterminer la composition de la flotte de pêche en haute mer. Ainsi, les quatre engins de pêche les plus couramment utilisés dans les eaux internationales sont : la palangre, la senne coulissante, la turlutte et le chalut. Par ailleurs, seuls six pays (la Chine, Taïwan, le Japon, l'Indonésie, l'Espagne et la Corée du Sud) représentent 77% de la flotte mondiale de pêche en haute mer et 80% de la totalité de l'effort de pêche suivi par des systèmes AIS/VMS¹⁷⁷.

Les palangres peuvent atteindre 100 km de long et comporter plusieurs milliers d'hameçons appâtés tandis que les sennes coulissantes sont des filets qui permettent d'encercler des bancs de poissons entiers et que l'on resserre par le bas à la façon d'une bourse. La pêche au thon en haute mer, essentiellement pratiquée avec cette dernière technique, donne ainsi lieu à d'importantes prises accessoires non désirées, non gérées ou rejetées à la mer. Malheureusement, la quantité précise de captures accidentelles en haute mer est ardue à estimer en raison de la difficulté à rassembler des données en la matière, la couverture des observateurs étant insuffisante, en particulier pour ce qui concerne la pêche à la palangre.

En outre, les palangres dérivantes tuaient entre 50 000 et 100 000 oiseaux marins chaque année et ce en dépit de la mise en œuvre de méthodes d'atténuation des risques et de la réduction drastique du recours à cet engin dans certaines pêcheries, en particulier dans l'océan Austral¹⁷⁸. Sur les 61 espèces d'oiseaux marins touchées par la pêche palangrière, 26 sont aujourd'hui menacées d'extinction, parmi lesquelles 18 espèces d'albatros, sur les 22 existantes¹⁷⁹. À ces chiffres doivent également s'ajouter le grand nombre de tortues marines, mammifères marins, élastomobranches (requins et raies) et poissons osseux (au moins 650 espèces), également victimes des palangriers.

Parmi toutes les espèces marines capturées dans le monde, le thon occupe une large place : les captures de thonidés représentent environ 7,5 millions de tonnes par an après avoir enregistré leur pic maximum en 2014¹⁸⁰. Les sept espèces les plus importantes sur le plan économique, à savoir la bonite à ventre rayé (*Katsuwonus pelamis*), le thon albacore (*Thunnus albacores*), le thon blanc (*Thunnus alalunga*), le thon obèse (*Thunnus obesus*) et le thon rouge (*Thunnus orientalis*, *Thunnus thynnus* et *Thunnus maccoyii*) sont commercialisées à l'échelle mondiale et, d'après les données recueillies sur les pêcheries et marchés de thon en 2012 et 2014, contribueraient chaque année à l'économie mondiale à hauteur d'au moins 42 milliards de dollars US en valeur finale¹⁸¹. Comme nous l'avons déjà précisé plus haut, les sennes coulissantes sont la technique la plus couramment utilisée pour capturer les thons, en association avec des hélicoptères, des radars à oiseaux, des GPS et des drones qui aident à localiser les bancs autour desquels déposer les filets. En outre, des dispositifs

de concentration de poisson (DCP) sont couramment déployés pour attirer le thon et d'autres espèces cibles et ainsi faciliter leur capture. D'après les estimations, entre 81 000 et 121 000 de ces dispositifs, constitués de simples objets flottants tels que des bûches ou des tapis d'algues marines, auraient été déployés dans le monde en 2013, ce qui signifie que leur nombre aurait été multiplié par quatre dans les océans Atlantique et Indien entre 2007 et 2013^{182, 183}. Or, le recours aux DCP dans le cadre de la pêche au thon est responsable de nombreux impacts négatifs tels que l'exacerbation de la surpêche, les captures en masse de thons juvéniles, le nombre élevé de prises accessoires d'espèces vulnérables telles que les tortues et les requins, la modification de l'habitat des thons ou encore l'introduction de déchets dans les océans. Un constat corroboré par May Lim et son équipe de chercheurs aux Philippines, qui, après avoir modélisé les impacts des DCP dans le Pacifique ouest, ont conclu que lorsque les réserves halieutiques étaient déjà surexploitées, le recours aux DCP ne faisait qu'accélérer leur effondrement¹⁸⁴.

À mesure que les pêcheries ont étendu leurs territoires en haute mer, les engins de pêche ont accédé à des profondeurs de plus en plus importantes : ainsi la profondeur moyenne à laquelle ces engins se sont mis à pêcher a-t-elle augmenté de 62,5 m par décennie, soit une augmentation de la profondeur de pêche d'environ 350 m depuis 1950¹⁸⁵. Parmi les différentes techniques de pêche, les chaluts de fond qui draguent de larges filets et de lourds engins sur les grands fonds marins sont considérés comme les plus destructeurs et sont particulièrement connus pour leurs impacts notables sur les habitats fragiles de haute mer¹⁸⁶. De fait, de nombreuses espèces propres à cette zone, caractérisées par une croissance et une reproduction lentes, telles que les têtes casquées pélagiques (*Pseudopentaceros wheeleri*), les hoplostètes oranges (*Hoplostethus atlanticus*), les béryx longs (*Beryx splendens*), les oréos (*Pseudocyttus maculatus*, *Alloctytus niger*) et les grenadiers de roche (*Coryphaenoides rupestris*) sont visées par les chaluts de fond dont le passage sur les grands fonds marins entraîne généralement des conséquences catastrophiques¹⁸⁷. En effet, le chalutage de fond en haute mer est souvent comparé aux coupes à blanc dans une forêt, une méthode rasant absolument tout sans distinction sur son passage. Aussi, dans le cas du chalutage, des communautés entières abritant nombre d'animaux comme les coraux, les éponges, les étoiles et les concombres de mer ou encore les anémones, se retrouvent-elles détruites¹⁸⁸. Une étude publiée dans la revue scientifique *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)* a par ailleurs souligné les potentielles conséquences du chalutage de fond sur les cycles biogéochimiques et conclu que cette méthode représentait une menace majeure pour les écosystèmes des grands fonds marins à l'échelle mondiale¹⁸⁹. Par conséquent, depuis 2006, plusieurs résolutions de l'Assemblée générale des Nations unies ont appelé les États à ne plus autoriser les activités de pêche de fond en haute mer à moins que des mesures suffisantes

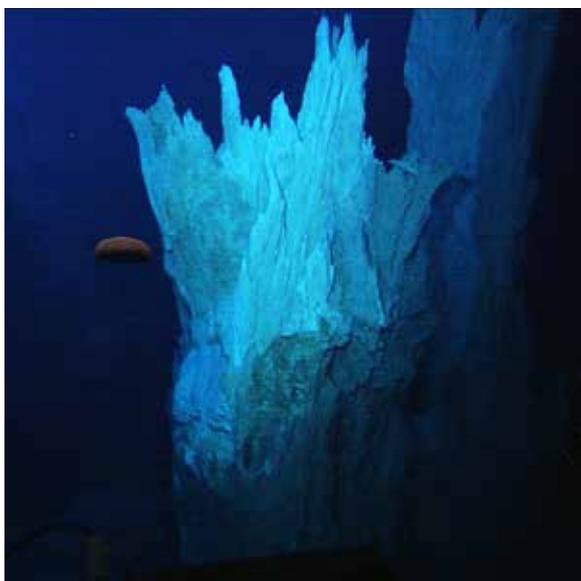
“ **CE SECTEUR
SUBSISTE GRÂCE
À D'IMPORTANTES
SUBVENTIONS
GOUVERNEMENTALES
SANS LESQUELLES
54 % DES ZONES DE
PÊCHE HAUTURIÈRE
SERAIENT NON
RENTABLES AUX TAUX
DE PÊCHE ACTUELS.** ”

aient été prises afin de prévenir leurs effets néfastes sur les écosystèmes marins et de garantir que les pêcheries ciblant les populations de poissons de haute mer soient gérées durablement. Malgré ces efforts, l'examen de la mise en œuvre de ces résolutions en 2016 a révélé que de nombreuses lacunes subsistaient à cet égard, le chalutage de fond étant encore autorisé dans de nombreuses zones abritant des écosystèmes marins vulnérables (EMV), et continuant ainsi à entraîner la raréfaction de nombreuses espèces de haute mer¹⁹⁰.

Comme le montrent les statistiques de la FAO, les ressources halieutiques mondiales se trouvent dans un état préoccupant. En partie responsable de cette situation, l'inefficacité de la gestion des pêcheries, en particulier en haute mer, est à mettre sur le compte d'une gouvernance trop complexe, fragmentée, et surtout trop lente et trop lourde pour faire face à l'évolution des pratiques de pêche¹⁹¹. Les organisations régionales de gestion de la pêche (ORGP) qui assurent la gestion de certaines réserves halieutiques dans leurs régions respectives, sont l'un des exemples les plus flagrants de cet échec en matière de gouvernance, qui découle de la combinaison de plusieurs facteurs : non-respect des réglementations internationales, défaut d'application de la législation, capacité excessive des flottes de pêche, versement de subventions inappropriées, priorité donnée aux intérêts économiques à court terme plutôt qu'à une conservation des ressources à long terme, et, enfin, manque de leadership politique de la part des États pour s'engager dans une coopération multilatérale¹⁹². Une évaluation des 18 ORGP existant dans le monde a ainsi conclu que ces organisations avaient « échoué à contribuer via la consultation et la coopération à l'utilisation optimale, à la gestion rationnelle ainsi qu'à la conservation des ressources halieutiques dans leur zone de convention »¹⁹³. Une étude portant sur la gouvernance des ORGP en matière de prises accessoires a en outre révélé que très peu de progrès avaient été réalisés pour amorcer une transition

de la gestion des pêcheries en faveur d'une approche axée sur les écosystèmes et notamment pour remédier aux importants effets indirects de la mortalité des captures accidentelles sur les écosystèmes¹⁹⁴. Si la conservation fait officiellement partie du mandat de la plupart de ces organisations, force est donc de constater que la priorité de leurs membres reste avant tout l'exploitation.

Tout comme la pêche non durable pratiquée sous l'égide des ORGP, la pêche INN est également problématique. La pêche illicite regroupe les activités qui enfreignent la législation nationale, régionale ou internationale telles que la pêche hors saison, la capture d'espèces protégées, l'utilisation d'engins ou de techniques interdites, le dépassement des quotas ou la pêche sans licence ; tandis que la pêche non déclarée concerne les prises non ou mal déclarées aux autorités compétentes ou aux ORGP. Enfin, la pêche non réglementée a trait aux activités de pêche ayant lieu dans des zones de vide juridique ou concernant des ressources non réglementées ainsi que les activités des navires sans pavillon. Cette catégorie inclut par ailleurs les problèmes ayant trait aux États pratiquant la pêche en haute mer dans des zones pour lesquelles ils n'ont signé aucune convention de gouvernance, et se servant sans aucune restriction. À cet égard, il convient de souligner qu'en juillet 2018, alors que la CNUDM comptait 168 États-parties, seuls 89 avaient signé les dispositions de l'accord des Nations unies sur les stocks de poisson (ANUP) lesquelles définissent des principes généraux, et exigent en matière de gestion et de conservation des ressources halieutiques l'adoption d'une approche prudente et fondée sur les écosystèmes¹⁹⁵. Il convient également d'ajouter qu'outre les problèmes environnementaux, la pêche INN entraîne d'importantes conséquences sociales portant préjudice aux pêcheurs respectueux de la réglementation, sans parler des pratiques criminelles auxquelles elle est parfois associée, comme l'esclavage en mer, entre autres. On estime ainsi que les pertes globales liées à cette pêche pirate représenteraient entre 10 et 23,5 milliards de dollars



Champ hydrothermal de Lost City
©NOAA/OAR/OER

US par an, soit entre 10 et 22 % de la production halieutique totale¹⁹⁶. Aussi le problème de la pêche INN a-t-il fait l'objet d'une attention croissante au cours des dernières années, et un certain nombre de progrès ont été réalisés à cet égard, en particulier grâce à l'Accord de 2009 de la FAO relatif aux mesures du ressort de l'État du port visant à prévenir, contrecarrer et éliminer la pêche INN, entré en vigueur le 5 juin 2016¹⁹⁷.

Les impacts négatifs de la surpêche et du recours à des pratiques de pêche destructrices se font désormais sentir dans le monde entier, et notamment en haute mer. Kristina Gjerde et ses collègues font remarquer que la spirale de dégradation dans laquelle sont pris les océans résulte de l'accumulation et de l'association des effets de diverses activités humaines. D'après eux, la pêche doit être replacée dans le contexte élargi des processus naturels et des systèmes vitaux assurés par un milieu marin en bonne santé¹⁹⁸. La mise en œuvre d'un nouvel accord pour la conservation et l'exploitation durable de la biodiversité dans les zones situées en dehors de toute juridiction nationale leur apparaît comme essentielle pour réformer la gestion des ressources halieutiques en haute mer.

Parmi les suggestions proposées pour améliorer la gestion des pêches en haute mer, est ressortie la nécessité d'intégrer dans le processus des données relatives à la démographie et à l'écologie des poissons (et notamment à la génétique des populations, aux relations environnementales et aux interactions entre espèces) en plus de celles sur les déplacements et les stratégies des flottes de pêche internationales^{199,200}. L'instauration de réserves marines hautement protégées joue également un rôle important dans cette démarche puisqu'associées aux mesures de gestion des pêches existantes, celles-ci tendent à favoriser la pêche durable (voir la partie sur les bénéfices tirés des réserves halieutiques).

De manière générale, les navires de pêche en haute mer parcourent de plus longues distances, passent davantage de temps à chercher le poisson et consomment donc plus d'énergies fossiles, générant par conséquent des coûts plus élevés par poids unitaire de poisson capturé que les bateaux navigant uniquement au sein des ZEE²⁰¹. L'empreinte carbone varie donc substantiellement selon les différents types de pêches, un constat qui a amené à s'intéresser de plus près à ces différences et à appeler à ce que cet aspect soit pris en compte dans les systèmes de certification et de label écologique²⁰².

En 2018, un article ayant recensé en détail la flotte mondiale de pêche en haute mer a estimé le bénéfice économique de cette activité²⁰³. À l'aide des récentes données satellite disponibles et des derniers développements en matière d'apprentissage machine, les auteurs ont pu suivre des navires en haute mer en temps quasi réel, un procédé auparavant impossible. En s'appuyant sur des estimations reconstituées du volume total des prises mondiales et de leur valeur au débarquement, sur les coûts de la pêche

calculés d'après l'effort de pêche déterminé par satellite et les caractéristiques des navires, ainsi que sur les estimations relatives aux subventions gouvernementales, les chercheurs ont pu dresser un tableau exhaustif de la rentabilité de la pêche hauturière. Les résultats indiquent qu'aujourd'hui, ce secteur subsiste grâce à d'importantes subventions gouvernementales sans lesquelles 54% des zones de pêche hauturière seraient non rentables aux taux de pêche actuels. Si la rentabilité varie certes grandement selon les pays, les types de pêche et la distance du port, il ressort néanmoins de cette étude que le chalutage de fond est une activité dépendant fortement des subventions.

Aussi, à la lumière de cette approche globale et de nos connaissances relatives aux différents aspects de la pêche hauturière, il semble impératif de modifier radicalement le dispositif actuel de gestion des pêches, dont la complexité, la fragmentation et la grande inefficacité ont largement été démontrées.

Exploitation minière en eaux profondes

Entre autres découvertes majeures, l'expédition du *HMS Challenger* (1872-1876) a révélé que des nodules polymétalliques se trouvaient dans la plupart des océans du globe²⁰⁴, poussant John Young Buchanan, le chimiste de l'expédition, à spéculer sur leur éventuelle valeur future²⁰⁵. Depuis, l'intérêt suscité par la possibilité d'exploiter des minerais en eaux profondes a fluctué. Dans les années 1960, le géologue américain John L. Mero a déclenché une vague d'engouement en avançant dans son ouvrage *The Mineral Resources of the Sea* (Les ressources minérales de la mer) que l'océan pourrait couvrir les besoins en minerais du monde entier. Une théorie qui a fait réagir Arvid Pardo, alors ambassadeur de Malte auprès des Nations unies, lequel a demandé à l'époque à la Première Commission de l'Assemblée générale des Nations unies d'inscrire les ressources des grands fonds marins au patrimoine mondial de l'humanité²⁰⁶. Dans son discours, Pardo demandait instamment l'élaboration d'une réglementation internationale afin d'empêcher les pays les plus avancés sur le plan technologique de coloniser et de monopoliser les ressources des grands fonds marins au détriment des pays en développement. Le processus s'est alors enclenché, aboutissant finalement à la création, en 1994, de l'Autorité internationale des fonds marins (AIFM), une organisation créée en vertu de la Convention des Nations unies sur le droit de la mer (CNUDM) pour réglementer les activités d'exploitation minière des fonds marins dans « la Zone », c'est-à-dire « les fonds marins et leur sous-sol au-delà des limites de la juridiction nationale ».

Aujourd'hui, trois grands types de gisements intéressent les États et les entreprises cherchant à développer l'exploitation minière en eaux profondes : les sulfures polymétalliques que l'on trouve autour des cheminées hydrothermales ; les encroûtements cobaltifères situés en bordure des monts sous-marins ; et les champs de nodules de manganèse répartis dans les plaines abyssales²⁰⁷. Ces gisements ne peuvent toutefois être considérés séparément des communautés d'espèces marines spécifiques, et parfois uniques, qui y sont associés. En effet, on sait que de nombreuses régions sélectionnées pour une future exploitation minière abritent des écosystèmes marins vulnérables (EMV).

Bien que les technologies et les méthodes d'extraction utilisées diffèrent en fonction du type de minerais exploités et des projets d'exploitation, elles ont toutes en commun d'entraîner les impacts suivants²⁰⁸ :

- la destruction directe de l'habitat et des organismes du plancher océanique ;
- l'altération du substrat et de sa géochimie ;
- la modification des vitesses de sédimentation et des réseaux trophiques ;
- des changements dans la disponibilité et l'hétérogénéité du substrat et dans les régimes d'écoulement ;
- la libération de panaches de sédiments en suspension ;
- la libération de toxines et la contamination par le biais des processus d'extraction et d'enlèvement ;
- la pollution sonore ;
- la pollution lumineuse ;
- les fuites de produits chimiques provenant des machines d'extraction.

Une récente analyse scientifique, *Deep-Sea Mining with No Net Loss of Biodiversity – An Impossible Aim* (L'exploitation minière en eaux profondes sans perte nette de biodiversité : l'objectif impossible) démontre que la perte en biodiversité découlant de l'extraction minière en haute mer est inévitable et que l'objectif de zéro perte nette de biodiversité est impossible à atteindre²⁰⁹. Les auteurs pointent également du doigt le fait que les conséquences écologiques sur la biodiversité des grands fonds marins sont inconnues et qu'elles se répercuteront sur les générations à venir, ce qui rend ce type d'opération minière difficilement acceptable d'un point de vue social ou scientifique.

Au cours des dix dernières années, l'exploitation minière en eaux profondes est passée d'un concept qui a fait débat à une quasi-réalité. Cela s'explique par les avancées technologiques considérables inspirées du secteur de l'extraction du pétrole et du gaz en mer. En outre, ses défenseurs avancent que la viabilité économique de cette industrie ne cesse d'augmenter compte tenu de la demande croissante en différents minerais présents dans les profondeurs des océans ainsi que de la baisse attendue de l'approvisionnement en minerais à forte teneur dans les gisements terrestres. Si l'appétit grandissant des consommateurs, notamment ceux des pays en développement, pour les articles de haute technologie, et la croissance rapide du secteur des énergies renouvelables (gourmand en cuivre et autres métaux, ainsi qu'en terres rares dont on trouve des gisements à haute teneur dans les grands fonds) constituent des arguments en faveur de l'extraction minière en eaux profondes, certains spécialistes de renom pensent toutefois que la demande peut être satisfaite sans exploiter les ressources des fonds marins. C'est le cas de Richard Steiner, biologiste de la conservation, qui propose de réduire la demande en matières premières via une meilleure conception de produits ou d'écoproduits, le partage, la réparation des objets, une meilleure réutilisation de ceux-ci, leur recyclage et l'exploitation des décharges. Or, des changements fondamentaux en faveur de réseaux intelligents en matière d'énergie et de mobilité sont nécessaires pour réduire la consommation de ces minerais²¹⁰. En outre, en 2016, un rapport faisant autorité rédigé par l'Institute of Sustainable Futures de Sydney a avancé des éléments tangibles réfutant l'affirmation selon laquelle l'exploitation minière en eaux profondes serait essentielle pour le développement des technologies des énergies renouvelables, indispensables à la lutte contre le changement climatique²¹¹. D'après ce rapport, intitulé *Renewable Energy and Deep-Sea Mining: Supply, Demand and Scenarios* (Énergies renouvelables et exploitation minière en eaux profondes : offre, demande et scénarios), la demande prévisionnelle en argent et en lithium jusqu'en 2050 n'utilisera que 35 % des ressources terrestres connues, et pourra donc facilement être couverte par les réserves existantes. La demande pour d'autres métaux (cuivre, cobalt, nickel, métaux de spécialité et terres rares) représenterait quant à elle moins de 5 % des ressources existantes et accessibles. Par ailleurs si la production d'argent, de lithium et de certaines terres rares est amenée à augmenter à mesure que le monde passera aux énergies renouvelables, la hausse du recyclage pourrait contribuer à répondre à la demande pour ces métaux. Le rapport conclut que « même en cas de taux de croissance très élevés de la demande, comme dans les scénarios les plus consommateurs d'énergie (c'est-à-dire avec une économie mondiale fonctionnant avec 100 % d'énergies renouvelables d'ici 2050), l'accroissement projeté de la demande cumulée – le tout dans la limite des ressources terrestres connues – ne nécessite aucune activité d'exploitation minière en eaux profondes ».

De nombreux pays et entreprises privées ont fait de la sécurité de l'approvisionnement à long terme en matières premières un objectif politique à part entière. Une politique qui expliquerait, dans une certaine mesure, cet intérêt croissant pour le développement rapide du secteur de l'exploitation en eaux profondes.

Cette vague d'intérêt se ressent dans le nombre de permis d'exploration délivrés par l'AIFM. À l'origine, six premières demandes d'exploration de minerais avaient été déposées en 1984, concernant une surface de 75 000 km² chacune. Ces demandes ont donné lieu à des permis officiels lorsque l'AIFM est devenue une entité légale 10 ans plus tard, suite à l'Accord de 1994 relatif à l'application de la Partie XI de la Convention des Nations unies sur le droit de la mer (CNUDM). L'AIFM n'a pas accordé d'autres permis jusqu'en 2011, année où l'organisation a achevé l'élaboration des réglementations sur l'exploration. À l'heure actuelle, ce sont 29 permis d'exploration qui ont été délivrés en tout par l'AIFM pour la recherche de nodules et sulfures polymétalliques ainsi que d'encroûtements cobaltifères de ferromanganèse dans les grands fonds marins. Dix-sept de ces contrats portent sur l'exploration des nodules polymétalliques dans la zone de fracture Clarion-Clipperton (16) et dans le bassin central de l'océan Indien (1). Sept concernent l'exploration de sulfures polymétalliques dans les parties sud-ouest et centrale de la dorsale de l'océan Indien et au niveau de la dorsale médio-Atlantique, tandis que les cinq autres portent sur l'exploration de croûtes riches en cobalt dans l'océan Pacifique ouest²¹².

Avant d'autoriser toute activité d'exploitation minière commerciale dans « la Zone », l'AIFM doit achever la rédaction du Code d'exploitation minière, ensemble exhaustif de règles, réglementations et procédures qui régiront tous les aspects de l'exploitation minière en eaux profondes (prospection, exploration et exploitation) dans la zone internationale. À cet égard, les réglementations ne sont pas les seuls éléments devant encore être mis au point : l'AIFM doit par ailleurs élaborer des propositions sur le montant des droits et redevances que les exploitants devront payer, et plus important encore, elle devra mettre en place de solides garde-fous pour protéger l'environnement.

La Deep Sea Conservation Coalition (DSCC), coalition regroupant plus de 80 organisations non gouvernementales œuvrant pour la protection des grands fonds marins, participe aux réunions de l'AIFM en qualité d'observateur depuis 2014. Dans ses consignes pour la 24^e Session de l'AIFM, la DSCC précise que, en vue de s'aligner sur le Programme de développement durable à l'horizon 2030 des Nations unies, il conviendra d'adopter une approche mondiale de la consommation des ressources minérales axée sur l'aspect durable, la réutilisation, une meilleure conception des produits et le recyclage des matériaux²¹³. La DSCC affirme par ailleurs que si l'exploitation minière en eaux profondes est autorisée, elle ne devra pas avoir lieu avant qu'une réglementation adaptée et efficace pour l'exploration et l'exploitation ne soit mise en place, de sorte à garantir la protection effective de l'environnement marin et de l'ensemble de ses habitats, de sa biodiversité et de ses fonctions écosystémiques, via, au moins, la création d'un réseau d'aires et de réserves marines protégées. En avril 2018, cinquante ONG du monde entier ont appelé l'AIFM à réformer son fonctionnement de manière substantielle et à élaborer un processus permettant de débattre de questions fondamentales sur la nécessité de l'exploitation minière en eaux profondes et ses conséquences à long terme pour la planète et l'humanité²¹⁴. À cette occasion, il a également été recommandé à l'AIFM de procéder à une évaluation détaillée de solutions plus durables et de s'assurer que les résultats soient portés au débat de manière ouverte et transparente. Dans l'intervalle, l'AIFM est exhortée à n'accorder ni contrats d'exploration ni licence d'exploitation.

Même s'il reste encore certaines étapes à franchir avant que les gisements marins des eaux internationales ne soient exploités, notons que Japan Oil, Gas and Metals National Corp (JOGMEC) a déjà déployé avec succès des excavateurs pour extraire du minerai riche en zinc, or, cuivre et plomb à 1 600 m de profondeur au large d'Okinawa, dans la zone économique exclusive (ZEE) du Japon²¹⁵. De même, un autre projet, baptisé Solwara-1, est mené actuellement dans les eaux de Papouasie-Nouvelle-Guinée par Nautilus, une entreprise canadienne, et ce malgré des revers financiers répétés. L'action de Nautilus a ainsi atteint son plus bas niveau le 23 juillet 2018, quelques jours après l'annonce d'un prêt de 650 000 dollars US accordé à l'entreprise par Deep Sea Mining Finance, au titre d'un contrat de crédit allant jusqu'à 34 millions de dollars conclu précédemment entre l'entreprise, deux de ses filiales et le prêteur. Ces montants illustrent l'ampleur du risque lié à ce secteur pour les investisseurs^{216, 217}.

À l'heure actuelle, les activités d'exploitation minière en eaux profondes obéissent à des réglementations différentes selon qu'elles se situent dans la Zone (régie par l'AIFM) ou sur les plateaux continentaux (régis par les différentes juridictions nationales). Cette situation doit par conséquent faire l'objet d'une harmonisation afin d'éviter les incohérences et le morcellement des réglementations au sein de mêmes régions²¹⁸. Par ailleurs, les activités ayant un impact sur les fonds océaniques ne peuvent être gérées sans prendre en compte les eaux qui se trouvent au-dessus et d'autres facteurs de perturbation tels que l'acidification des océans, les changements climatiques et la pollution²¹⁹.

CHAMP HYDROTHERMAL DE LOST CITY

Découvert en 2000 sur la dorsale médio-Atlantique lors d'une expédition de la National Science Foundation à bord du navire de recherche Atlantis, Lost City a suscité l'effervescence au sein de la communauté scientifique. En effet, ce champ de cheminées hydrothermales se caractérise par une association de conditions extrêmes encore jamais observées dans le milieu marin²²⁰. Baptisé ainsi en raison de ses airs de métropole abandonnée, du nom du navire de recherche et de son emplacement, à environ 800 m sous la surface, près du sommet du massif sous-marin Atlantis qui s'élève à 4 267 m du plancher océanique, cet impressionnant site d'événements calcaires très actifs présente un très grand nombre de formes de vie inhabituelles^{221, 222}.

Lost City est un fumeur blanc (voir la partie sur les cheminées hydrothermales) qui résulte de l'écoulement de l'eau de mer à l'intérieur du massif, où celle-ci réagit

au contact du manteau rocheux riche en magnésium (péridotite) vieux de 1,5 million d'années. La réaction engendrée dégage de la chaleur et dissout certains minéraux présents dans la roche, produisant une eau chaude et alcaline pouvant atteindre 90°C et un pH entre 9 et 10,8. Cette eau jaillit ensuite de fissures présentes dans le plancher océanique, formant des panaches blancs. Lorsque cette eau chaude et riche en calcaire, en méthane et en hydrogène se mélange à l'eau de mer plus froide, il se produit une précipitation de carbonates formant d'immenses cheminées, de gracieux sommets aux découpes fragiles et des dépôts en forme d'alvéoles²²³. Dominant le champ hydrothermal de cette « cité perdue », Poséidon, une cheminée active culminant à 60 m au-dessus du fond marin et mesurant 15 m de diamètre à son sommet, est le plus grand événement jamais découvert. D'après la datation au carbone, Lost City serait actif depuis au moins 30 000 ans, et



“ LES SCIENTIFIQUES
CRAIGNENT QUE
TOUTE ACTIVITÉ
D’EXPLOITATION
MINIÈRE PUISSE
DÉTRUIRE CET
ÉCOSYSTÈME UNIQUE
AVANT MÊME QU’IL
SOIT BIEN COMPRIS ”

Cheminée de carbonate, champ hydrothermal de Lost City
©NOAA/OAR/OER

certaines de ses cheminées cracheraient depuis au moins 300 ans, ce qui en fait le plus ancien système hydrothermal sous-marin connu à ce jour dans le monde. Certains résultats de modélisation indiquent par ailleurs que le système pourrait rester actif pendant un million d’années²²⁴.

Les cheminées de carbonate de Lost City regorgent de microbes : leurs parois internes, poreuses, abritent des biofilms où domine un phylotype unique d’archées (microbes dénués de noyau cellulaire) qui vivent d’hydrogène et de méthane, tandis qu’à l’extérieur des parois, où la chimie est différente, prolifèrent des bactéries oxydant le soufre et le méthane pour produire de l’énergie²²⁵. Si les formes de vie marine plus grandes y sont moins importantes en termes de biomasse que dans la plupart des sites hydrothermaux, la vaste surface et les formes très découpées des structures de Lost City fournissent une kyrielle de pores, fissures et crevasses servant d’abris à de petites créatures – bien que ces dernières, souvent dotées de coquilles transparentes ou translucides, soient difficiles à repérer à l’aide d’un appareil télécommandé. Les cheminées actives abritent surtout plusieurs espèces de gastropodes et d’amphipodes, tandis que les espèces plus grandes, bien que plus rares, incluent notamment des crabes, crevettes, oursins, anguilles et diverses sortes de coraux. D’après une évaluation réalisée en 2005, environ 58% de la faune de Lost City serait endémique²²⁶.

Certaines théories avancent que les événements hydrothermaux alcalins, tels que ceux de Lost City, seraient le berceau de la vie sur Terre, attirant l’attention de la NASA (National

Aeronautics and Space Administration). Les réactions chimiques à l’œuvre dans le champ d’événements pourraient en effet aider l’agence américaine à identifier les compositions chimiques spécifiques susceptibles d’indiquer une vie possible sur d’autres planètes et lunes²²⁷.

Lost City a donc été classé ZIEB par la communauté internationale pour sa rareté et son importance et l’Unesco a reconnu son exceptionnelle valeur universelle lors des discussions relatives à la potentielle inscription au patrimoine mondial de l’humanité de certains sites situés en haute mer²²⁸. Or, certaines entreprises d’exploitation minière et gouvernements manifestent un intérêt croissant pour l’extraction de minerais et de métaux dans le plancher océanique de la dorsale médio-Atlantique dans les environs de Lost City. Ainsi le 12 février 2018, la Pologne s’est vue accorder par l’AIFM une licence de 15 ans pour explorer une surface de 10 000 km² englobant Lost City, en vue d’y rechercher des sulfures polymétalliques²²⁹.

Les scientifiques craignent que toute activité d’exploitation minière puisse détruire cet écosystème unique avant même qu’il soit bien compris. Certains ont même avancé l’idée d’appliquer le principe de précaution, et de protéger toutes les cheminées actives des impacts directs et indirects du secteur minier, en raison de leur vulnérabilité, de leur importance individuelle et potentiellement équivalente, ainsi que de leur valeur culturelle et scientifique exceptionnelle pour l’humanité toute entière^{230, 231}.

Bioprospection

La bioprospection est la recherche de matériaux biochimiques et génétiques dans la nature, à partir desquels des produits présentant un intérêt commercial peuvent être développés, notamment dans les domaines pharmaceutique, agricole et cosmétique. Cette activité a connu une expansion rapide ces dernières années, et le milieu marin constitue un immense réservoir de ressources génétiques marines qui reste encore à explorer²³². D'après une étude menée récemment par le Stockholm Resilience Centre, 47 % des brevets concernant des ressources génétiques marines ont été déposés par une seule entreprise multinationale (BASF, le plus grand fabricant de produits chimiques au monde), et 98 % des brevets concernant des ressources génétiques marines sont détenus par des entités sises dans une dizaine de pays riches seulement²³³.

L'étude met également au jour qu'une part considérable des séquences d'ADN marin brevetées (11 %) sont dérivées d'espèces en lien avec les grands fonds et les écosystèmes des événements hydrothermaux. Face aux conditions extrêmes de leur habitat (pressions élevées, températures élevées ou basses et fortes concentrations en composés inorganiques), la plupart de ces organismes ont développé des caractéristiques physiologiques spécifiques pour s'adapter. Or, ce sont précisément ces caractéristiques codées dans l'ADN de ces organismes (souvent appelés « extrémophiles ») qui intéressent le plus souvent les bioprospecteurs. Ainsi les secteurs de la chimie, de l'agro-alimentaire, de la pharmacie, du papier et du textile s'intéressent-ils par exemple aux enzymes thermostables présentes dans les grands fonds marins, dont certaines peuvent résister à des températures dépassant 90°C²³⁴.

Si la bioprospection des ressources génétiques marines offre de potentiels bénéfiques socio-économiques, elle constitue également une véritable menace environnementale pour les organismes ciblés et leurs habitats qui peuvent se révéler très vulnérables à la surexploitation, aux perturbations, aux modifications des conditions hydrologiques et environnementales locales (y compris l'introduction d'espèces exotiques) et à la pollution²³⁵.

À l'heure actuelle, aucune règle claire ne régit l'utilisation des ressources génétiques des grands fonds marins. L'accès à ces ressources et la manière dont les bénéfices tirés de la recherche ou leur valeur économique devraient être redistribués constituent d'ailleurs des problématiques majeures²³⁶. L'élaboration d'un cadre juridique réglementant l'accès aux ressources génétiques marines et le partage des bénéfices qui en découlent représente par conséquent l'un des enjeux fondamentaux des négociations internationales en vue de la création d'un nouveau traité mondial sur les océans.

Changements climatiques

En 2014, dans son résumé à l'intention des décideurs, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) synthétisait comme suit les impacts du changement climatique sur les écosystèmes marins au cours des prochaines décennies, tout en attribuant des degrés de confiance aux différentes prévisions à grande échelle²³⁷ :

“En raison du changement climatique projeté d'ici le milieu du XXI^e siècle et au-delà, la redistribution des espèces marines à l'échelle mondiale et la réduction de la biodiversité marine dans les régions sensibles auront une incidence sur la pérennité de la productivité de la pêche et d'autres services écosystémiques (*degré de confiance élevé*). Les changements de distribution géographique des espèces marines dus au réchauffement projeté entraîneront des invasions aux latitudes hautes et une extinction élevée localement des espèces sous les tropiques et dans les mers semi-fermées (*degré de confiance moyen*). En moyenne, la richesse des espèces et le potentiel de captures halieutiques augmenteront aux latitudes moyennes et hautes (*degré de confiance élevé*), et diminueront sous les tropiques (*degré de confiance moyen*). [Voir Figure SPM.6A.] L'expansion progressive des zones d'oxygène minimum et des « zones mortes » anoxiques de l'océan devrait réduire encore l'habitat des poissons. La production primaire nette en haute mer devrait connaître une redistribution et, d'ici 2100, diminuer à l'échelle mondiale selon tous les scénarios RCP*. Le changement climatique s'ajoute aux menaces que représentent la surpêche et d'autres facteurs de perturbation non climatiques (*degré de confiance élevé*). Le changement climatique s'ajoute aux menaces que représentent la surpêche et d'autres facteurs de perturbation non climatiques (*degré de confiance élevé*).”

Ce rapport, bien qu'inquiétant, n'exprime toutefois pas toute la mesure et la portée des bouleversements que le changement climatique provoquera sur les océans. Les gigatonnes de carbone émises chaque année dans l'atmosphère ont entraîné une multitude de changements physiques, dont la hausse mondiale des températures, la perturbation des schémas météorologiques régionaux, la montée du niveau des eaux, la modification des charges en nutriments ainsi que de la circulation océanique²³⁸. De plus, la concentration des gaz à effet de serre dans les océans et dans l'atmosphère tendant vers l'équilibre, toute augmentation du niveau de CO₂ dans l'atmosphère entraîne irrémédiablement une augmentation du niveau de CO₂ dans les océans, provoquant de profonds

* Les Profils représentatifs d'évolution de concentration (Representative Concentration Pathway ou RCP) sont des trajectoires de concentrations (et non des émissions) de gaz à effet de serre adoptés par le GIEC dans le cadre de l'AR5) en 2014.



changements dans la chimie de ces derniers (voir la partie sur l'acidification des océans).

Les océans absorbent presque autant de CO₂ que toutes les forêts et plantes terrestres réunies. Entre 1971 et 2010, l'océan a absorbé environ 93 % de toute la chaleur excédentaire contenue dans l'air, la mer et la terre réchauffés et dans la glace fondue²³⁹. Bien que la température de la couche supérieure des océans (et donc son contenu thermique) varie sur de multiples échelles temporelles, y compris les périodes saisonnières, interannuelles (par exemple, celles qui sont associées au phénomène El Niño-oscillation australe), décennales et séculaires, tous les bassins océaniques ont connu un réchauffement significatif depuis 1998, le plus important ayant été enregistré dans la région australe, dans l'océan Pacifique tropical/subtropical et l'océan Atlantique tropical/subtropical^{240, 241}. Les 75 premiers mètres de profondeur se sont réchauffés de 0,11 [0,09 à 0,13] °C par décennie sur la période 1971-2010²⁴². À mesure que les vagues, les marées et les courants brassent les eaux des océans, la chaleur est transférée depuis des latitudes chaudes vers des latitudes plus froides et vers les profondeurs, et absorbée en majeure partie dans les 700 premiers mètres. Si la chaleur absorbée par l'océan circule autour de la planète, elle n'est pas pour autant perdue pour celle-ci. En effet, la relation dynamique existant entre l'océan et l'atmosphère est telle qu'une partie de cette chaleur reviendra directement réchauffer l'atmosphère, et que la chaleur déjà stockée dans les océans sera tôt ou tard libérée, ce qui ne fera qu'aggraver le réchauffement planétaire²⁴³.

Étude de cas du changement climatique : l'Arctique

L'Arctique réagit aux changements climatiques de manière plus rapide, et probablement plus grave, que n'importe quel autre endroit sur la planète. Les eaux polaires sont en effet particulièrement vulnérables au changement climatique en raison de leur sensibilité à la fonte de la banquise²⁴⁴. Ainsi, la diminution de la taille et de la masse des couches de glace des deux pôles due au dérèglement climatique, en se conjuguant à la fonte des glaciers et à la dilatation thermique des océans, entraîne la hausse du niveau des océans à un rythme d'environ 3 mm par an²⁴⁵. Dans l'Arctique, la calotte glaciaire du Groenland recule à un rythme sans précédent, contribuant ainsi directement à l'élévation du niveau des eaux²⁴⁶. En été, les températures dans l'océan Arctique sont aujourd'hui 2 à 3°C plus élevées que la moyenne des températures relevées entre 1982 et 2010, tandis qu'un recul de presque 50 % de l'étendue de la banquise estivale a été observé entre la fin des années 1970 et 2017²⁴⁷. De plus, le recul de l'étendue et de l'épaisseur de la glace de mer est exacerbé par une boucle de rétroaction : une surface de glace moindre diminue l'albédo mondial, ce qui entraîne la baisse de la quantité de rayonnement solaire réfléchi par la surface de la terre et provoque ainsi l'augmentation des températures, accentuant encore la fonte du permafrost. À cela s'ajoute le fait que la glace plus

fine et moins compacte se brise plus facilement sous l'effet des vents violents. Dans l'ensemble, il s'est produit une modification fondamentale dans la composition des glaces de mer de l'Arctique : autrefois essentiellement composées d'une épaisse couche de glace pluriannuelle, elles sont aujourd'hui formées le plus souvent d'une couche plus fine et plus dynamique, datant de l'année même.

Ce ne sont pas les seuls bouleversements que connaît l'océan Arctique. En analysant des données obtenues à partir de bouées ancrées, des scientifiques ont découvert que les eaux chaudes en provenance de l'Atlantique, jusqu'à présent séparées de la banquise par l'halocline, une barrière entre eaux profondes salées et eaux de surface moins salées, pénétraient dans les eaux de l'Arctique, provoquant la fonte des glaces par le bas²⁴⁸. Cette « atlantification » du bassin eurasiatique de l'océan Arctique est l'un des facteurs de la disparition rapide des glaces de l'Arctique, lequel entraînera probablement des changements biogéochimiques et géophysiques considérables et donc des conséquences sur la vie marine de la région, telles que, par exemple, le développement d'efflorescences planctoniques à de nouveaux emplacements.

Les changements décrits ci-dessus, associés à d'autres problèmes tels que la réduction des flux d'éléments nutritifs découlant de la stratification accentuée par l'arrivée d'eau douce dans l'océan Arctique, entraîneront tous des bouleversements dans les écosystèmes marins arctiques. En outre, les changements climatiques pouvant avoir des répercussions sur les organismes marins au travers de nombreux processus différents et interconnectés, il y a de fortes probabilités que de nombreuses modifications imprévues se produisent²⁴⁹. Au niveau des réseaux trophiques, le dérèglement climatique a altéré la productivité primaire ainsi que la répartition, l'abondance et la condition physique des plus grands prédateurs. L'un des changements les plus significatifs concerne le schéma de production primaire, qui est passé de polaire à tempéré, avec une augmentation de 30 % de la production primaire annuelle nette dans l'océan Arctique entre 1998 et 2012^{250, 251}.

Les modifications dans la productivité primaire et les populations planctoniques peuvent avoir des répercussions sur les grands prédateurs et certaines espèces marines emblématiques. Ainsi, il a été remarqué que le mergule nain, *Alle alle*, effectuait des trajets plus longs pour se nourrir dans certaines zones de l'Atlantique où ses proies préférées, les copépodes riches en lipides *Calanus glacialis* et *C. hyperboreus*, ont été remplacées par des *Calanus finmarchicus* moins nourrissants. Le *Calanus finmarchicus* est une espèce de copépode plus petite et de plus en plus abondante dans les zones réchauffées par l'afflux croissant d'eau en provenance de l'Atlantique²⁵². Or, la modification des comportements de recherche de nourriture, en particulier lorsque les individus doivent effectuer des trajets plus longs et donc dépenser davantage d'énergie,



Ours polaire, Arctique
© Daniel Beltrá/Greenpeace

peut avoir des conséquences au niveau des populations d'espèces que l'on ne comprend pas encore parfaitement.

Impacts des changements climatiques sur les mammifères marins dépendants des glaces

Le narval, le béluga, la baleine boréale, le morse, l'ours polaire et les phoques dépendants de la banquise (tels que le phoque annelé, le phoque barbu, le phoque largha, le phoque rubané, le phoque du Groenland et le phoque à capuchon) sont les mammifères marins emblématiques de l'Arctique les plus étroitement associés à la banquise. Une étude de 2015 s'est penchée sur des données relatives à toutes les populations de ces mammifères marins de l'Arctique et sur la disponibilité d'un habitat de glace de mer adapté pour la région circumpolaire, à l'exception du bassin arctique central²⁵³. Les auteurs ont découvert que, pour bon nombre de sous-populations, les données sur la population étaient maigres, ce qui n'a rien de surprenant étant donné la vaste étendue de leur aire de répartition et le comportement énigmatique de nombre de ces espèces, sans parler des difficultés logistiques d'un recensement dans l'environnement arctique. En conséquence, le manque de données de référence rend difficile l'établissement de tendances pour ces populations. Dans leur étude de 2015, les chercheurs ont quantifié la perte d'habitat sur la banquise en se fondant sur la date du changement saisonnier s'opérant entre les

glaces hivernales et estivales, et ont noté des tendances significatives au niveau des dates du recul des glaces au printemps et de leur avancée à l'automne entre 1979 et 2013. Dans toutes les régions étudiées sauf une, à savoir la mer de Béring, les scientifiques ont remarqué que la banquise avait subi de profonds changements : la période estivale de recul s'est ainsi allongée de 5 à 10 semaines, et de plus de 20 semaines du côté russe de la mer de Barents. Si les réactions des mammifères marins arctiques à ces modifications engendrées par les changements climatiques peuvent être variables, il est possible qu'à court terme, elles s'avèrent positives pour certaines espèces si la productivité des écosystèmes augmente.

Pour les phoques dépendants des glaces de mer (ou pagophiles), en revanche, le moment où la banquise se brise est vital, car ils ont besoin de suffisamment de temps pour sevrer leurs petits avant sa rupture. Tout raccourcissement de la période pendant laquelle l'habitat est propice aux petits est donc susceptible de réduire leur taux de survie. Ainsi, le phoque annelé ne peut creuser sa tanière que dans des conditions précises de glace et de neige. Le morse du Pacifique chasse quant à lui dans des eaux peu profondes en se reposant sur des îlots de glace flottante. Toutefois, ces dernières années, le recul de la glace estivale a incité les morses à former de grandes colonies à terre plus tôt dans l'année par rapport à ce qui avait été précédemment remarqué. Or, le

risque de surpopulation découlant de ces changements comportementaux pose souci, car il peut entraîner des mouvements de panique au cours desquels les animaux sont piétinés et meurent²⁵⁴.

L'ours polaire, qui figure sur la Liste Rouge des espèces menacées dans la catégorie vulnérable, est particulièrement dépendant de la banquise. Celle-ci lui sert à chasser, trouver un partenaire et élever ses petits – en résumé, elle lui est indispensable tout au long de son cycle de vie²⁵⁵. Pour survivre aux conditions extrêmes de leur habitat arctique, les ours polaires ont des besoins énergétiques très élevés qu'ils couvrent en consommant des proies riches en graisses, telles que les phoques, relativement faciles à trouver sur la glace²⁵⁶. Toutefois, l'évolution des conditions sur la banquise oblige les ours à dépenser davantage d'énergie pour trouver suffisamment de proies. Cette dépense supplémentaire a des répercussions sur l'équilibre énergétique fragile de cette espèce, notamment en termes de niveau des populations. Par exemple, le recul des glaces dans la mer de Beaufort et la mer des Tchouktsches force les ours à effectuer de véritables marathons qui augmentent la mortalité des oursons et stressent considérablement les adultes. Une ourse polaire a notamment nagé pendant neuf jours d'affilée – un record – parcourant 687 km dans l'eau²⁵⁷. D'après les scientifiques, le dérèglement climatique et le recul de la banquise en été seraient probablement responsables du nombre croissant d'ours polaires observés sur quatre sites de recherche de la côte ouest du Spitzberg (Svalbard en Norvège) et un site à l'est du Groenland. Certains de ces ours semblent adapter leur comportement alimentaire à l'évolution des conditions environnementales, se nourrissant de manière opportuniste dans les nids de bernaches nonnettes, d'eiders et de goélands bourgmestres. Les années où les ours arrivent avant l'éclosion des œufs, jusqu'à 90 % des nids peuvent être dévorés²⁵⁸. Les effets à long terme de ce changement de comportement alimentaire ne sont pas encore tout à fait compris, mais cet exemple illustre parfaitement l'une des potentielles réactions en chaîne découlant des changements climatiques.

Déplacement des populations halieutiques

Dans l'océan Arctique, il est probable que les multiples bouleversements environnementaux dus aux changements climatiques entraînent des modifications notables, complexes et non linéaires dans la répartition des espèces de poissons jouant un rôle sur le plan commercial. Ainsi, outre les effets directs de la température de l'eau sur la répartition géographique des habitats de différentes espèces de poissons, le climat aura également des répercussions indirectes potentiellement importantes sur les réseaux trophiques.

L'une des répercussions probables de la fonte des glaces de mer dans l'océan Arctique est l'éventuel passage d'espèces du Pacifique vers l'Atlantique et vice-versa, phénomène que les températures basses et le faible niveau d'éléments nutritifs de l'océan Arctique avaient empêché depuis des millénaires²⁵⁹.

Paul Wassmann et ses collègues ont rédigé en 2011 une synthèse utile de certains changements résultant de facteurs climatiques qu'ils ont pu observer dans l'écosystème marin de l'Arctique²⁶⁰. Ce compte-rendu porte sur les poissons, les oiseaux et les mammifères, et indique que les modifications en termes de répartition de certains prédateurs seront déterminées par la disponibilité des proies de prédilection. Parmi les changements observés chez les poissons, l'étude cite la progression vers le nord des morues de l'Atlantique et l'augmentation de leur recrutement et de leur longueur dans la mer de Barents, ainsi que le remplacement de la morue par la crevette à l'ouest du Groenland. L'entélure (*Entelurus aequoreus*), une autre espèce qui remonte désormais vers le nord, peut désormais se trouver à l'ouest de l'archipel du Svalbard. Côté Pacifique, le lieu de l'Alaska (*Gadus chalcogrammus*) se dirige lui aussi vers le nord dans la mer des Tchouktsches et la mer de Béring, dans laquelle la biomasse de l'espèce a augmenté. Si la hausse des températures et la modification du comportement de la banquise dans la mer de Béring a entraîné une augmentation de la biomasse reproductrice du flétan du Groenland (*Reinhardtius hippoglossoides*), il semblerait qu'elle ait eu l'effet inverse sur la morue du Pacifique, dont les stocks ont considérablement diminué. La modification des courants, le réchauffement et les changements au niveau de la banquise ont également eu des répercussions sur le crabe des neiges (*Chionoecetes opilio*) dont les populations ont reculé dans la partie sud de son habitat.

Les principaux accès à l'océan Arctique pour les espèces subarctiques sont d'une part le détroit de Béring pour les organismes du Pacifique, et d'autre part la mer de Norvège et la mer de Barents pour ceux de l'Atlantique. Récemment, la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) a recensé six espèces, dont la morue du Pacifique, le lieu de l'Alaska et la plie de Béring (*Hippoglossoides robustus*), dont l'aire de répartition s'est étendue par le détroit de Béring jusque dans la mer de Beaufort²⁶¹. Dans l'Atlantique, plusieurs espèces subarctiques sont désormais présentes dans les eaux entourant l'archipel du Svalbard. Ainsi, des biologistes de l'Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research ont rapporté en 2013 qu'un grand nombre de jeunes morues de l'Atlantique se trouvaient désormais autour du Spitzberg²⁶². Un autre groupe de chercheurs venus de Norvège et d'Écosse ont repéré pour la première fois des maquereaux communs (*Scomber scombrus*) dans la région de l'Isfjord dans le Svalbard. C'est l'endroit le plus septentrional où ce poisson, présentant un grand intérêt commercial, ait jamais été croisé, ce qui représenterait une remontée vers le nord d'environ 5° de latitude²⁶³.

L'églefin (*Melanogrammus aeglefinus*), autre espèce de la mer des Barents importante d'un point de vue commercial, a fait l'objet d'études moins poussées que la morue de l'Atlantique. En 2014 toutefois, une enquête sur les conséquences du climat sur les stocks d'églefin de la mer des Barents a conclu que la tendance à long terme s'orientait vers un déplacement de leur aire de répartition en direction du nord-est, lequel serait probablement lié à l'augmentation de la température des eaux²⁶⁴. L'extension de l'habitat de l'églefin, comme pour d'autres espèces benthiques telles que la morue de l'Atlantique, sera limitée par la présence des plateaux continentaux, c'est-à-dire a priori par le plateau sibérien en direction de l'est.

Le capelan (*Mallotus villosus*) est une espèce pélagique qui vit en marge des eaux froides de l'Arctique. Tout comme la morue polaire, à la répartition plus statique et davantage présente dans les eaux glacées aux températures négatives, le capelan se nourrit de zooplancton, notamment de copépodes, et constitue lui-même une proie pour d'autres poissons et certains oiseaux et mammifères marins. Or, il apparaît que ce poisson réagit rapidement aux changements de son environnement et étend son aire de répartition vers le nord les années chaudes. L'espèce peut ainsi subir d'importantes fluctuations de population en réponse à différents facteurs, notamment aux interactions entre prédateurs et proies. Une étude de 2013 relevait que le stock de capelans de la mer des Barents avait été très élevé pendant quelques années, de l'ordre de 3 à 4 millions de tonnes, ce qui, associé à des températures au-dessus de la normale, expliquait pourquoi les capelans s'étaient regroupés très au nord²⁶⁵. En 2011, les capelans s'étaient essentiellement regroupés entre 77° et 81° N, soit plus au nord qu'entre 1972 et 2011. Sur la période 2007-2011, quelques capelans avaient été recensés au nord et au nord-ouest du Svalbard, mais en petits nombres seulement.

Le sébaste du nord (*Sebastes mentella*) et le flétan noir sont deux autres espèces susceptibles de pénétrer dans l'océan Arctique au cours de leur migration trophique. Ces deux espèces des grands fonds, intéressantes sur le plan commercial, vivent tantôt près du plancher océanique, tantôt dans la zone pélagique²⁶⁶.

Par ailleurs, une étude s'est penchée dernièrement sur les communautés de poissons présentes dans le nord de la mer de Barents et sur les changements survenus entre 2004 et 2012²⁶⁷. Cette étude a relevé que le réchauffement récent avait poussé certaines espèces boréales de poissons vivant au niveau du plateau continental à étendre leur habitat vers le nord. Les auteurs suggèrent que de grands migrants, prédateurs de ces poissons, pourraient tirer parti des modifications de la production et des espèces à chasser. Devenues la proie principale de davantage de prédateurs boréaux, les espèces de poissons arctiques pourraient alors subir un niveau de prédation plus élevé et battre en retraite vers le nord et l'est. Ces déplacements de communautés entières ont lieu à un rythme plus rapide

que ceux prévus même dans les scénarios climatiques extrêmes, et sont comparables aux estimations réalisées pour l'espèce qui se déplace le plus rapidement, le merlan bleu (*Micromesistius poutassou*) dans la mer du Nord. Pour résumer, les changements significatifs qui surviennent dans la structure des communautés de poissons et les modifications au niveau des interactions dans les réseaux trophiques entraînent une « boréalisation » de l'écosystème de l'Arctique. De fait, les chercheurs constatent une même tendance chez un grand nombre d'espèces de poissons de l'Arctique qui, poussées en direction des pôles ou des fonds marins par la hausse des températures, modifient leurs aires de répartition²⁶⁸.

Zones de minimum d'oxygène

Les zones de minimum d'oxygène (ZMO) sont des poches d'eau dont la concentration en oxygène passe de 4 à 6 mg/l (fourchette normale) à moins de 2 mg/l. Présentes partout dans le monde à des profondeurs de 200 à 1 500 m, elles résultent à la fois de processus biologiques qui diminuent la concentration en oxygène et de processus physiques qui limitent le mélange entre les eaux des ZMO et celles alentour. Souvent situées à l'extrémité est des bassins océaniques, les ZMO s'étendent sous l'action des changements climatiques²⁶⁹. Leur emplacement résulte d'une combinaison de facteurs : à mesure que les eaux se réchauffent, elles s'appauvrissent en oxygène ; de plus, la hausse des TSM augmente la stratification (et empêche le brassage des eaux). Enfin, l'augmentation de la concentration en CO₂ à la surface ou l'écoulement d'éléments nutritifs depuis les côtes entraîne l'augmentation de la production de phytoplancton. Lorsque celui-ci meurt et coule vers les profondeurs, il s'ensuit une hausse proportionnelle de l'activité bactérienne qui fait baisser le taux d'oxygène dans la ZMO.

D'après les prévisions, l'expansion et la remontée des ZMO observées dans les océans au cours des 50 dernières années devraient se poursuivre sous l'effet de la hausse mondiale des températures et entraîner de lourdes conséquences, telles que la modification des processus microbiens qui produisent et consomment des éléments nutritifs et des gaz cruciaux ; des changements dans les dynamiques entre prédateurs et proies ; ainsi qu'une évolution de l'abondance et de l'accessibilité des espèces halieutiques intéressantes du point de vue commercial²⁷⁰. Comme pour les autres changements liés au climat, les retombées seront positives pour certains et négatives pour d'autres.

Une collaboration interdisciplinaire entre des océanographes, des biologistes de la pêche et des spécialistes du marquage des animaux a par exemple montré que l'expansion des ZMO pourrait avoir réduit l'habitat disponible de certains poissons pélagiques tropicaux tels que le thon et le marlin d'environ 15 % entre 1960 et 2010²⁷¹. D'après les chercheurs, la remontée des ZMO concentre prédateurs et proies dans des zones de

surface de plus en plus réduites, ce qui pourrait conduire à une surestimation de l'abondance des stocks sur le fondement des prises enregistrées par les engins de pêche de surface. Ainsi le makaira bleu (*Makaira nigricans*), qui peut plonger à 800 m de profondeur si l'oxygène est disponible en quantité suffisante, ne dépassera pas une centaine de mètres de profondeur si celui-ci est limité, se heurtant à l'extrémité haute de la ZMO. Ces changements de comportement peuvent conduire certaines espèces intéressantes sur le plan commercial, comme le requin, à rester au sommet de la colonne d'eau pour éviter les ZMO, ce qui les expose davantage aux pêcheurs.

D'autres espèces essentielles pour l'écologie seront potentiellement touchées par l'expansion et la remontée des ZMO, notamment le krill et certains myctophidés qui effectuent des migrations verticales quotidiennes depuis les régions supérieures des ZMO jusqu'à la zone épipélagique. En concentrant les proies près des eaux de surface, la compression verticale des habitats de certaines espèces nécessitant des eaux bien oxygénées peut entraîner une modification de la relation prédateur-proie²⁷².

Acidification des océans

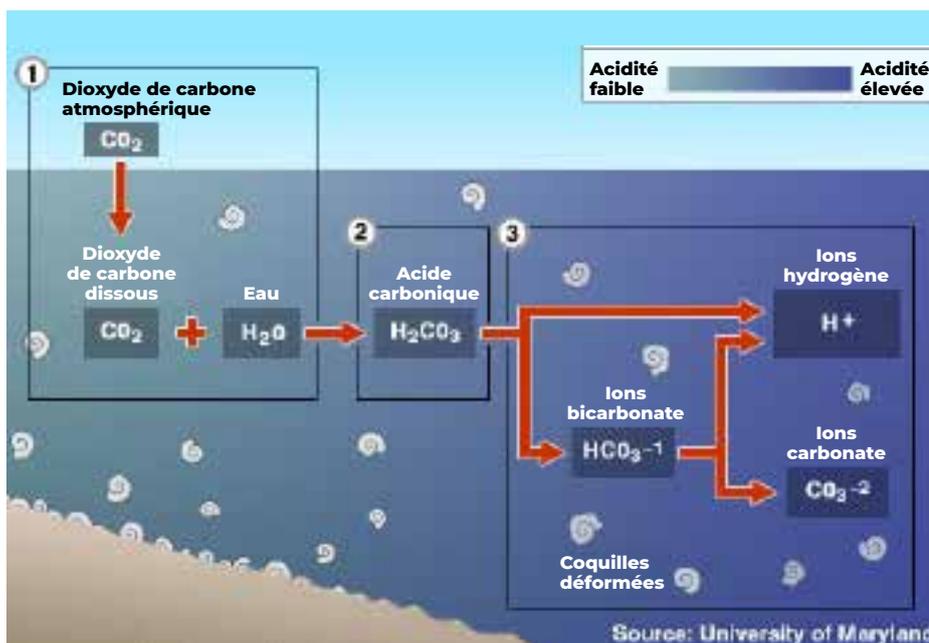
L'acidification des océans désigne l'augmentation en cours de l'acidité (baisse du pH) découlant de l'absorption par les océans d'une partie du CO₂ atmosphérique produit par l'utilisation de combustibles fossiles. Ce phénomène, qui

pourrait être perçu comme positif pour la réduction du niveau de CO₂ dans l'atmosphère et donc pour l'atténuation des effets négatifs du dérèglement climatique, est pourtant susceptible d'entraîner de profondes répercussions sur les écosystèmes marins. À l'instar des changements climatiques, l'acidification est l'une des conséquences négatives d'un monde saturé en CO₂, raison pour laquelle elle a été surnommée le « double maléfique des changements climatiques ».

Le pH moyen à la surface des océans a déjà chuté d'environ 0,1 unité, passant de 8,2 à 8,1 depuis le début de la révolution industrielle. Ce chiffre est très significatif étant donné que le pH s'exprime selon une échelle logarithmique, ce qui signifie qu'une baisse de seulement 0,1 unité représente une augmentation de 25 % de l'acidité. Ainsi, l'acidité de la surface des océans a déjà augmenté d'environ 30 % depuis l'époque préindustrielle. Pire, les récentes évolutions font état d'un rythme d'acidification plus rapide que jamais depuis les 400 000 dernières années au moins²⁷³.

Récemment, des chercheurs de l'Université de Cardiff ont entrepris de retracer le niveau d'acidité des océans et de CO₂ dans l'atmosphère au cours des dernières 22 millions d'années en étudiant la composition chimique des coquilles de minuscules créatures marines fossilisées qui vivaient autrefois près de la surface des océans, afin de déterminer l'acidité de l'eau de mer à cette époque²⁷⁴.

ACIDIFICATION DE L'OcéAN : PROCESSUS CHIMIQUE



Lorsque le CO₂ est absorbé par l'eau de mer, une série de réactions chimiques se produit : pour atteindre l'équilibre, une partie du CO₂ réagit avec l'eau (H₂O) pour former de l'acide carbonique (H₂CO₃) : $CO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3$. L'acide carbonique se dissout ensuite rapidement pour former des ions H⁺ (un acide) et du bicarbonate HCO₃⁻¹ (une base). L'eau de mer est naturellement saturée en ion carbonate (CO₃⁻²), une autre base qui agit comme un antiacide et neutralise l'ion H⁺, formant davantage de bicarbonate. À mesure que les ions carbonate diminuent, l'eau de mer est moins saturée en deux minéraux composés de carbonate de calcium, l'aragonite et la calcite, utilisés par de nombreux organismes marins pour fabriquer leur coquille et leur squelette.

L'équation de réaction est la suivante : $CO_2 + H_2O + CO_3^{2-} \rightarrow 2HCO_3^-$

En appliquant leurs résultats aux scénarios d'émissions futures de carbone du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), les scientifiques ont découvert qu'un pH des océans de moins de 7,8 tel que projeté pour 2100 si les tendances actuelles se confirment, représente un niveau jamais atteint depuis l'optimum climatique du miocène moyen il y a environ 14 millions d'années, lorsque les températures globales étaient supérieures d'environ 3°C à celles d'aujourd'hui en raison du cycle géologique naturel de la terre.

La modification annoncée de la chimie des océans est susceptible d'avoir des incidences à grande échelle sur les espèces et les écosystèmes marins, auxquelles les organismes réagiront en migrant vers une zone moins ou non touchée, en s'adaptant aux nouvelles conditions, ou en s'éteignant²⁷⁵. Si les espèces répondront de différentes manières à l'acidification des océans, l'ampleur mondiale du phénomène et sa vitesse sont telles que certaines espèces en pâtiront tandis que d'autres s'acclimateront, voire prospéreront. De manière générale, ces répercussions modifieront les réseaux trophiques, et probablement les fonctions écosystémiques.

Les organismes marins tels que le plancton calcaire, les Gymnosomata, les coquillages, les oursins, les crustacés et les coraux d'eaux froides, qui utilisent le carbone dissous dans l'eau pour bâtir leur coquille ou leur exosquelette, sont les plus menacés par l'acidification des océans.

Des recherches récentes indiquent que, d'ici 2050, ce phénomène pourrait menacer environ 70 % des coraux d'eaux froides vivant à plus de 1 500 m de profondeur dans l'Atlantique nord²⁷⁶. En effet, ces animaux peuvent construire leur fragile exosquelette en aragonite uniquement lorsque le niveau de saturation de cet élément dans l'eau de mer est suffisant, c'est-à-dire supérieur à « l'horizon de saturation ». En deçà, l'eau de mer n'est plus saturée, ce qui signifie qu'elle peut dissoudre le corail dur. En se fondant sur des données d'observation recueillies entre 2002 et 2016, des chercheurs ont remarqué que l'horizon de saturation en aragonite remonte dans certaines parties de l'Atlantique nord. Dans la mer d'Irminger par exemple, au sud des côtes islandaises, ce seuil s'est élevé de 10 à 15 mètres par an²⁷⁷. À mesure que l'horizon de saturation remonte, la part des coraux exposés à la corrosion augmente. Ainsi, au vu des scénarios prévisionnels d'émissions de CO₂, il est possible que d'ici trente ans, les coraux d'eaux froides de l'Atlantique nord soient gravement menacés.

Malheureusement, les préjudices causés par l'acidification des océans s'étendent bien au-delà des organismes sécrétant des structures en carbonate de calcium, et incluent notamment²⁷⁸ :

→ la diminution de la survie de certaines espèces marines au stade larvaire, y compris des poissons et coquillages revêtant un intérêt commercial ;



Gymnosomata, océan Arctique
© Alexander Semenov

- des troubles chez les invertébrés au niveau du développement aux stades de la fécondation, de l'œuf et de la larve, ainsi qu'au niveau des colonies et de la reproduction ;
- des niveaux excessifs de CO₂ dans le sang des poissons et céphalopodes pouvant engendrer une toxicité capable de réduire de manière significative la croissance et la fertilité chez certaines espèces.

Par ailleurs, l'acidification des océans est une source d'inquiétude majeure dans certaines régions. C'est le cas de la côte californienne, où des upwellings se produisent de manière saisonnière, et où des vents violents entraînent les eaux de surface au large, faisant remonter des profondeurs des eaux froides et riches en éléments nutritifs. Par comparaison, ces dernières contiennent également beaucoup de CO₂ dissous et affichent un pH plus bas. La richesse en nutriments des zones d'upwelling leur confère une grande importance biologique, car leurs eaux alimentent une vie marine très diversifiée. Or, l'acidification des océans causée par la combustion des énergies fossiles est susceptible de détruire la vie marine qui s'y trouve, ce qui constitue un sujet de préoccupation croissante.

Pollution

Bon nombre d'activités humaines entraînent le rejet dans l'océan de substances synthétiques dangereuses ou modifient la répartition de substances naturelles pouvant avoir un effet néfaste sur le milieu marin. Ces polluants incluent : les produits chimiques, les hydrocarbures, les substances radioactives, les nutriments, les plastiques et autres déchets. Certains ont pour effet de tuer directement les organismes marins, d'autres leur portent préjudice en dégradant l'intégrité des écosystèmes.

Les produits chimiques de synthèse toxiques, bioaccumulables et ayant une longue durée de vie sont appelés polluants organiques persistants (POP). Ils incluent notamment les produits chimiques utilisés comme retardateurs de flamme, les solvants et les pesticides, qui sont facilement transportés dans l'environnement marin où ils se déplacent ; ainsi, certaines de ces substances ont même été retrouvées dans les tissus d'amphipodes vivant dans deux des fosses océaniques les plus profondes au monde²⁷⁹.

Les PCB (polychlorobiphényles), autrefois largement utilisés dans le matériel électrique, figurent sur la liste d'une dizaine de POP que plus de 90 pays ont décidé de bannir progressivement au titre de la Convention de Stockholm, entrée en vigueur en 2004. Ces produits à la dégradation lente sont toutefois toujours fabriqués et persistent dans les océans. Les fortes concentrations de PCB ainsi retrouvées dans les tissus de certains prédateurs apicaux, tels que les orques, indiquent que ces substances contribuent très probablement à la baisse du recrutement et au déclin de certaines populations. D'après une étude récente portant sur la contamination aux PCB dans les populations d'orques à travers le monde, plus de la moitié des animaux suivis étaient gravement touchés par ces produits, ce qui pourrait entraîner la disparition de l'espèce dans certaines régions d'ici quelques décennies²⁸⁰. Les concentrations en PCB chez les orques de par le monde sont dues à la proximité de cette espèce avec les lieux de production et d'utilisation de ces substances, mais aussi à leur régime alimentaire. Ainsi, les populations d'orques vivant près des côtes très industrialisées (au large du Royaume-Uni, du détroit de Gibraltar ou dans le nord-ouest du Pacifique, par exemple) sont davantage contaminées que celles des eaux reculées de l'Antarctique. En outre, les orques nomades vivant en haute mer et se nourrissant de mammifères marins, de thons et de requins sont davantage contaminées que celles qui mangent exclusivement des poissons, en raison de la bioamplification.

Autre polluant, le mercure arrive dans les océans essentiellement par dépôt atmosphérique, bien qu'une partie soit charriée par les fleuves. Si certaines sources sont naturelles, bon nombre de processus industriels, notamment la combustion du charbon, produisent du mercure, si bien qu'aujourd'hui, sa concentration dans les eaux de moins de 100 m de profondeur est trois fois plus

élevée qu'à l'époque préindustrielle^{281, 282}. La majeure partie du mercure arrive dans l'océan sous forme inorganique, puis une partie est convertie en méthylmercure (MeHg) par les microbes. Ce composé se trouve en quantités infimes dans les océans, inférieures à un milliardième de gramme par litre, mais sa concentration est bien plus élevée dans le poisson que nous consommons. Le rôle crucial du plancton dans l'absorption et le transfert trophique du méthylmercure est décrit dans une étude de 2018 qui souligne que le phytoplancton affiche des concentrations en méthylmercure entre 500 et 500 000 fois plus élevées que les eaux alentour²⁸³. De fait, le zooplancton consomme le phytoplancton, ingérant le méthylmercure plus rapidement que ses cellules ne peuvent l'éliminer, ce qui mène à une bioaccumulation du méthylmercure dans le zooplancton. Le même processus se répète à chaque maillon de la chaîne alimentaire, les concentrations les plus élevées se retrouvant chez les grands prédateurs à la longue durée de vie, comme le thon et l'espadon. Ce phénomène a aussi des conséquences sur la santé des êtres humains, l'exposition au méthylmercure entraînant des troubles du neurodéveloppement et des problèmes cardiovasculaires. Une étude de 2018 est venue confirmer le fait que l'exposition au méthylmercure aux États-Unis provient en grande partie de la consommation d'animaux marins pêchés en haute mer (45%).

Pollution par les hydrocarbures et le transport maritime

Au cours des dernières décennies, les avancées de la technologie en eaux profondes ont permis l'exploration et l'extraction de pétrole et de gaz à de très grandes profondeurs, dans les limites du plateau continental et des ZEE. Cela ne signifie pas pour autant que la haute mer soit dépourvue de toute pollution par les hydrocarbures. Le pétrole et les hydrocarbures aromatiques polycycliques qu'il contient pénètrent la haute mer via la pollution chronique et continue du transport maritime, ou à la suite d'accidents, par exemple lors de l'incendie et le naufrage du pétrolier iranien *Sanchi* dans l'est de la mer de Chine en janvier 2018, huit jours après sa collision avec un cargo²⁸⁴.

En 2010, l'explosion de *Deepwater Horizon* dans le golfe du Mexique a causé une marée noire sans précédent, due au fait que la fuite provenait d'un puits ultra-profond (1 500 m) ainsi qu'au volume de pétrole écoulé (environ 4,9 millions de barils). Les recherches menées à la suite de ce désastre ont fourni de nouvelles informations quant à l'évolution des marées noires en haute mer, et notamment le fait qu'une partie des hydrocarbures aromatiques polycycliques était incorporée à la neige marine, puis ingérée par les organismes marins ou déposée sur les fonds marins, impactant à la fois les organismes benthiques et la biogéochimie des sédiments²⁸⁵. Plus de 150 baleines et dauphins, ainsi que plus de 600 tortues ont été retrouvés morts après la marée noire provoquée par *Deepwater Horizon*. En outre, les travaux menés par la NOAA indiquent qu'il faudra des décennies aux populations de plusieurs



Tortue aux prises avec un sac plastique
© Troy Mayne/
Oceanic Imagery Publications

mammifères marins et tortues de mer pour se remettre de cette catastrophe, illustrant à quel point les marées noires ont des conséquences dévastatrices sur les espèces en danger²⁸⁶.

Débris marins et plastiques

Les débris marins regroupent les matériaux solides, essentiellement des déchets, qui polluent les océans ; un problème généralisé qui détruit la vie marine partout dans le monde. Très répandus, les matériaux synthétiques, et tout particulièrement les plastiques, sont les plus problématiques. Une étude menée récemment pour fournir des données de référence et aider à prioriser les futures stratégies de suivi et d'atténuation des débris plastiques, a estimé qu'à l'heure actuelle, les fleuves déversaient entre 1,15 et 2,41 millions de tonnes de plastiques chaque année dans les océans²⁸⁷. Les 20 fleuves les plus polluants, essentiellement situés en Asie, représentent 67 % du total mondial de ces déchets. La pollution par les plastiques est une problématique à l'échelle du globe qui concerne tous les océans, des tropiques aux pôles. Les plastiques dérivent sur des distances considérables au gré des courants qui les déposent sur des plages reculées et les concentrent dans les gyres océaniques. Certains débris plastiques coulent même jusqu'au fond des océans : en 1998, un sac plastique a ainsi été photographié par 10 898 m de fond dans la fosse des Mariannes²⁸⁸. S'il est impossible d'évaluer avec précision la quantité de plastiques actuellement présente dans les océans, une étude fondée sur des données rassemblées par 24 expéditions menées entre 2007 et 2013 estime que 5,25 billions de particules pesant 268 940 tonnes flotteraient en mer²⁸⁹.

La présence de plastiques dans les océans a des répercussions multiples pour la vie marine, notamment l'enchevêtrement des animaux, les occlusions intestinales en cas d'ingestion, et l'invasion par des espèces exotiques, les déchets plastiques permettant à ces dernières de se déplacer²⁹⁰. Des observations de 2015 rapportaient qu'au

moins 690 espèces s'étaient trouvées confrontées à des débris marins, et qu'il s'agissait de plastique dans 92 % des cas²⁹¹. Au moins 17 % des espèces concernées figurent sur la liste rouge de l'UICN dans la catégorie quasi menacée, ou dans les catégories de menaces supérieures. Sur les clichés d'une étude photographique menée pendant 29 ans sur 626 baleines franches de l'Atlantique nord, 83 % d'entre elles présentent des signes d'enchevêtrement.

En outre, les microplastiques, ces petites particules au diamètre inférieur ou égal à 5 mm, constituent une forme de pollution très répandue dans les océans²⁹². Elles incluent des produits primaires comme les granulés plastiques, qui servent de matière première à l'industrie plastique, et les microbilles de plastique ajoutées dans les produits cosmétiques et de nombreux produits ménagers, ainsi que des microplastiques secondaires engendrés par l'érosion et la dégradation de grands morceaux de plastique par le vent, les vagues et les rayons ultraviolets. On trouve des microplastiques partout dans le monde, même aux endroits les plus reculés, de la surface des océans aux sédiments des grands fonds^{293, 294}.

Ces microparticules ont été retrouvées dans le corps d'animaux très variés, allant du zooplancton, par exemple des copépodes, aux tortues et mammifères marins^{295, 296}, mais ils peuvent être ingérés par n'importe quelle créature marine. Le problème réside notamment dans le fait que ces matières ont la capacité d'adsorber puis de désorber des produits toxiques (on dit qu'un plastique adsorbe un composé chimique lorsque ce dernier est attiré et « adhère » au plastique ; à l'inverse, la désorption se produit quand le plastique « libère » le produit chimique adsorbé), rejetant ainsi les produits chimiques ajoutés au cours du processus de fabrication²⁹⁷. Si, à l'heure actuelle, la consommation de produits de la mer contaminés par les microplastiques n'est pas considérée comme dangereuse pour la santé humaine, les recherches menées sur le devenir et les conséquences des microplastiques dans les réseaux trophiques marins et chez l'être humain n'en sont encore qu'à leurs balbutiements²⁹⁸.

Pollution sonore

Au cours du siècle dernier, la présence humaine en mer a considérablement augmenté le bruit dans ce milieu. Transport maritime, prospection sismique, utilisation de sonars militaires, forage en mer et battage de pieux sont autant de sources de pollution sonore sous-marine, lesquelles sont désormais reconnues comme un problème mondial pour un très grand nombre d'animaux, et dont les effets, qui dépendent de l'intensité et de la fréquence, peuvent être bénins ou mortels^{299, 300}. C'est le cas notamment de l'utilisation militaire de sonars, qui a déjà causé la mort de cétacés³⁰¹.

D'une manière générale, l'importance du son pour les organismes marins est mal comprise, et l'on connaît davantage ses conséquences sur les mammifères marins que sur n'importe quel autre taxon³⁰². Dans le cas des poissons, les scientifiques pensent qu'un bruit constant d'origine humaine peut avoir de graves incidences en les éloignant d'importantes zones d'alimentation et de reproduction, en interrompant des activités cruciales, ou en engendrant une baisse de la croissance et de la reproduction en raison du stress provoqué³⁰³. Même si les lacunes en la matière sont encore considérables, il a été reconnu que le bruit est un élément essentiel pour de nombreuses espèces de poissons, et que les empêcher d'entendre certains sons ayant une importance biologique pouvait perturber des fonctions vitales comme la communication acoustique, l'évitement des prédateurs et la détection des proies³⁰⁴. Les poissons utilisant des signaux acoustiques pour connaître leur environnement, toute interférence peut avoir des conséquences considérables aux niveaux des individus, des populations et potentiellement des écosystèmes tout entiers. Par ailleurs, l'influence du son sur les invertébrés a beau être mal connue, on sait qu'ils y sont sensibles³⁰⁵.

Le bruit sous-marin d'origine anthropique et ses conséquences font l'objet d'une attention accrue de la part de différents forums intergouvernementaux aux échelons mondial et régional, parmi lesquels la Convention sur la diversité biologique (CDB), la Convention sur les espèces migratoires (CMS), la Commission baleinière internationale (CBI) et l'Organisation maritime internationale (OMI). En mars 2018, le rapport du secrétaire général des Nations unies sur le bruit sous-marin anthropogénique a été publié afin de faciliter les discussions du Processus consultatif informel ouvert à tous sur les océans et le droit de la mer³⁰⁶. Au cours des délibérations qui ont suivi, certains pays ont évoqué la nécessité de gérer la pollution sonore de manière mondiale et harmonisée, rappelant que les négociations pour un traité mondial sur les océans seront l'occasion de mettre en place des mesures pour lutter contre ce problème³⁰⁷. Plus spécifiquement, le bruit sous-marin pourrait être intégré dans les éléments à prendre en compte dans les outils de gestion par zone (ABMT, Area-based management tools) et les études d'impact environnemental (EIE). Différentes approches ont été

avancées quant à la façon dont les outils de gestion par zone pourraient répondre au bruit sous-marin, notamment via la désignation de « zones silencieuses » en haute mer pour protéger les couloirs migratoires des cétacés et des poissons lorsqu'une vulnérabilité particulière a été repérée, et protéger les zones les plus silencieuses de l'océan^{308, 309}. Si l'idéal reste encore de stopper les bruits anthropogéniques à leur source, la création de réserves marines et d'AMP formerait des lieux préservés des productions sonores les plus néfastes, qui atténueraient les effets du bruit généré par les activités menées dans les eaux ou les fonds marins environnants.

Géo-ingénierie

La géo-ingénierie marine est définie comme suit : « une intervention délibérée dans le milieu marin visant à manipuler des processus naturels, notamment contrecarrer les changements climatiques d'origine anthropique et/ou leurs incidences, et qui est susceptible de se traduire par des effets délétères, en particulier lorsque ces effets peuvent être étendus, durables ou graves³¹⁰. » Les risques et incertitudes environnementaux liés à la géo-ingénierie marine, et notamment à la fertilisation des océans à grande échelle, qui consiste à stimuler la croissance du phytoplancton en introduisant des éléments nutritifs dans les océans en vue d'augmenter leur productivité, ou à la modification des zones d'upwelling, restent élevés.

En outre, d'après les auteurs d'un rapport technique remis en 2016 à la CDB, ces interventions ne permettent de séquestrer que des quantités relativement modestes de CO₂³¹¹. Au vu de ces risques et incertitudes, toute fertilisation des océans est interdite en dehors du cadre de la « recherche scientifique légitime », laquelle est étroitement réglementée au niveau international par le protocole de Londres. La controverse entre scientifiques et décideurs politiques continue quant au meilleur moyen de réglementer les propositions d'autres formes de géo-ingénierie afin de respecter une démarche de précaution et de préserver la santé des océans.

Conséquences des multiples facteurs de stress

La haute mer est aujourd'hui touchée par de multiples facteurs de stress d'origine anthropique présents à des niveaux sans précédent, qui, en outre, interagissent entre eux³¹². Ainsi, il est possible que les effets de la hausse des émissions de CO₂ due à la combustion des énergies fossiles, notamment le réchauffement, l'acidification et l'hypoxie des océans, interagissent entre eux et avec d'autres impacts anthropogéniques tels que la surpêche, la pollution et l'introduction d'espèces envahissantes³¹³. Prévoir les effets cumulatifs et interactifs de ces facteurs de stress ainsi que le potentiel de résistance ou de résilience des organismes individuels et des communautés écologiques, est extrêmement complexe, d'autant plus que ces effets peuvent se révéler additifs, synergétiques ou antagonistes³¹⁴.

Les effets sont dits synergétiques lorsque l'effet combiné d'au moins deux facteurs de stress sur une réponse écologique (par ex. diversité, productivité, abondance, survie, croissance, reproduction) est plus important que la somme des impacts de chacun des facteurs considérés de manière isolée. Ce phénomène se produit lorsqu'un changement causé au niveau physiologique ou écologique par l'un des facteurs de stress augmente la sévérité ou l'occurrence des effets d'un second facteur de stress. La réaction des organismes à de multiples facteurs de stress dépend de l'amplitude de ces derniers et du moment où ils surviennent, les effets synergétiques étant plus courants lorsque ces facteurs se manifestent de manière rapprochée dans le temps³¹⁵.

L'éventualité que plusieurs facteurs de stress concomitants puissent avoir des effets synergétiques est une source d'inquiétude majeure, car cela pourrait engendrer des événements écologiques imprévisibles et des réactions en chaîne susceptibles d'accélérer la perte de la biodiversité et d'altérer le fonctionnement des écosystèmes³¹⁶.

Selon certains scientifiques, les changements climatiques et la surpêche pourraient être responsables de la restructuration rapide d'un écosystème marin très productif dans la mer du Nord ; d'autres ont montré comment les effets synergétiques de l'acidification des océans, du réchauffement climatique et de l'expansion de l'hypoxie rétréciront la profondeur habitable du calamar géant (*Dosidicus gigas*), un grand prédateur du Pacifique est^{317, 318}. Ces exemples d'effets synergétiques néfastes prouvent que cette inquiétude est légitime, d'autant que d'autres facteurs viennent s'y ajouter. Ainsi, le British Antarctic Survey (BAS) est en train de réaliser une étude de l'impact synergétique des nanoplastiques et de l'acidification des océans sur les écosystèmes marins dans l'océan Austral³¹⁹.



RÉSERVES MARINES : UN OUTIL CLÉ POUR PRÉSERVER LA SANTÉ DES OCÉANS

Le terme d'aire marine protégée (AMP) est désormais répandu dans le jargon de la conservation marine et de la gestion des océans. Toutefois, ce qu'il recouvre précisément varie du tout au tout suivant les mesures mises en place, lesquelles peuvent engendrer un grand nombre de bénéfices comme des avantages limités voire inexistants³²⁰. Afin de lever toute ambiguïté, il convient de rappeler que pour être reconnu comme AMP, un site doit correspondre à la définition suivante :

“Une aire protégée est un espace géographique clairement défini, reconnu, consacré et géré, par tout moyen efficace, juridique ou autre, afin d'assurer à long terme la conservation de la nature ainsi que les services écosystémiques et les valeurs culturelles qui lui sont associés³²¹.”

Cette définition est expliquée et développée dans le document Application des normes mondiales de conservation de l'UICN aux AMP qui synthétise le document Norme Liste Verte de l'UICN pour les zones protégées et conservées, ainsi que des politiques pertinentes actuelles tirées des résolutions et des documents d'orientation approuvés de l'UICN³²².

Ce document recense les caractéristiques essentielles qu'une AMP doit posséder :

- la conservation axée sur la nature comme priorité ;
- des buts et des objectifs définis qui reflètent ces valeurs ;
- une taille, un emplacement et une conception appropriés qui permettront la conservation des valeurs ;
- une délimitation définie et convenue d'un commun accord ;
- un plan de gestion ou équivalent, qui répond aux besoins de conservation des principales valeurs du site et à la réalisation de ses buts et objectifs sociaux et économiques ;
- des ressources et une capacité à mettre en œuvre.

Les AMP constituent l'un des piliers du continuum de gestion nécessaire pour aider à préserver la santé des océans. La principale différence avec les autres mesures par zone (ABMT) est que leur objectif principal doit être la conservation de la biodiversité. Les zones visées par des ABMT dont les objectifs principaux sont autres, comme la pêche durable, ne sont donc pas considérées comme des AMP.

Les AMP peuvent aller de zones pleinement protégées à des zones qui permettent des utilisations multiples, au sein desquelles le niveau de protection est variable. Cela signifie que la pêche et les autres activités extractives dans une AMP, le cas échéant, doivent avoir un faible impact écologique, être durables et compatibles avec les objectifs de l'AMP. De fait, toute activité dommageable pour l'environnement et tout développement d'infrastructures ne sont pas compatibles avec les AMP.

Les aires marines protégées constituent un outil clé d'une grande valeur pour protéger les habitats et les espèces, reconstruire la biodiversité océanique et aider à restaurer les milieux marins, et ainsi préserver des processus vitaux indispensables au fonctionnement sain des écosystèmes. Cet élément est largement reconnu et explicitement mentionné dans l'objectif de développement durable n° 14 des Nations unies et l'objectif n° 11 d'Aichi faisant partie du plan stratégique pour la diversité biologique 2011-2020 des conventions des Nations unies.

AMP – les différents niveaux de protection

Si les AMP permettant des utilisations multiples peuvent engendrer des bénéfices dans certains contextes, les preuves scientifiques indiquent invariablement que les principaux avantages écologiques tirés de la protection proviennent des zones fortement ou entièrement protégées, communément appelées zones de non-prélèvement ou réserves marines^{323, 324}. En excluant toute activité d'extraction et en éliminant ou en limitant d'autres pressions d'origine anthropique, ces zones permettent aux espèces de maintenir ou de retrouver leur abondance, leur biomasse et leur diversité³²⁵. Une méta-analyse d'études scientifiques a par exemple montré que la biomasse des assemblages de poissons dans les réserves marines était, en moyenne, 670 % plus importante que dans les zones non protégées, et 343 % plus importante que dans les AMP partiellement protégées. La biomasse halieutique constitue une unité de mesure intéressante pour évaluer le succès des AMP, car c'est un indicateur fiable de la santé des assemblages de poissons et donc de la santé de l'écosystème^{326, 327}. L'interdiction de toute activité dommageable, d'extraction ou autre, protège la vie marine depuis la surface jusqu'aux fonds marins et préserve d'importantes relations écologiques et biogéochimiques, assurant la protection de l'ensemble de l'écosystème et des processus qui y sont liés³²⁸. En outre, les aires marines entièrement protégées permettent aux individus d'atteindre un âge plus avancé, ce qui améliore la structure des populations et le taux de reproduction des grandes femelles poissons âgées fécondes (big old fat fecund female fish - BOFFFF)³²⁹.

De fait, la complexité des écosystèmes peut être restaurée dans les réserves marines, comme ce fut le cas de réserves côtières dans la Méditerranée et au large de la

Nouvelle-Zélande, où des landes d'oursins ont cédé le pas à des forêts d'algues à la biodiversité bien plus élevée dès que les populations de prédateurs d'oursins ont été reconstituées^{330, 331}. Les grands animaux, la plupart du temps au sommet des réseaux trophiques, jouent un rôle essentiel pour certaines fonctions écosystémiques, notamment dans le cycle des éléments nutritifs et d'autres processus clés³³². Reconstituer leurs populations participe donc au maintien de l'équilibre dans les écosystèmes de haute mer en contribuant à la santé et à la complexité des réseaux trophiques^{333, 334}. Toutefois, faire en sorte que les réseaux d'AMP protègent efficacement les grands prédateurs reste une gageure à maints égards et constitue un sujet de recherche active, notamment du fait que bon nombre de ces espèces, comme les mammifères marins, les requins et les oiseaux, se déplacent sur de grandes distances et nécessitent la mise en place de mesures de protection qui tiennent compte de leur mode de vie³³⁵.

LE "WHITE SHARK CAFÉ"

Il existe une zone de la haute mer où une réserve marine bénéficierait clairement à un grand prédateur de premier ordre : le « White shark café », ou le café des grands requins blancs. Située au milieu de l'océan Pacifique, entre la Basse Californie et Hawaï, cette zone a été découverte en 2002 par des chercheurs qui suivaient des requins blancs équipés de balises satellites³³⁶. Leurs données indiquent qu'au mois de décembre, une grande partie des grands requins blancs de Californie, adultes et juvéniles, parcourent des milliers de km en haute mer jusqu'à une région d'environ 250 km de diamètre, où ils se regroupent pendant quelques semaines avant de retourner vers les côtes californiennes, leur aire d'alimentation habituelle. À l'origine, cet endroit était considéré comme peu productif et incapable de fournir suffisamment de nourriture aux grands requins blancs, jusqu'à ce que des recherches plus poussées révèlent que les requins étaient attirés par une extraordinaire abondance de calmars et de petits poissons effectuant des migrations diurnes depuis la zone mésopélagique³³⁷.



Bénéfices pour les pêcheries

Les AMP peuvent bénéficier autant aux pêcheries qu'à la conservation, bien qu'elles ne se substituent pas aux bonnes pratiques de gestion de la pêche nécessaires dans ce domaine.

Parmi les bénéfices potentiels découlant d'AMP créées et mises en place de manière efficace pour les pêcheries, citons notamment :

- l'augmentation de la biomasse des espèces cibles et la reconstitution des stocks, la restauration de la productivité des pêcheries et le rétablissement des populations ;
- le déplacement d'adultes et de juvéniles hors de la réserve, pouvant conduire à l'augmentation des captures dans les eaux adjacentes ;
- le transport d'œufs et de larves en dehors de la réserve ;
- la restauration de la structure naturelle des âges des populations exploitées et la préservation des BOFFFF dont les œufs présentent les taux de fertilité et de survie les plus élevés ;
- la conservation de la diversité génétique ;
- le maintien d'habitats essentiels pour les poissons à des stades clés de leur cycle de vie tels que les lieux de frai et d'élevage, les goulots d'étranglements sur les voies migratoires et les aires d'alimentation ;
- la reconstitution des habitats endommagés par la pêche ;
- la préservation de la diversité biologique et des fonctions et processus écosystémiques, permettant ainsi de renforcer la résilience face au changement écologique ;
- la constitution de sites de référence pour mesurer les effets des changements induits par la pêche ;
- la formation d'une garantie, les réserves marines constituant un rempart contre les incertitudes (notamment quant à l'évaluation des ressources) et les risques d'effondrement des stocks de poissons ;
- le meilleur respect des réglementations lorsque les parties prenantes participent à la désignation et à la mise en œuvre de ces réserves.

(Pour en savoir plus, voir Roberts et al. 2005³³⁸)

Les scientifiques s'intéressent de plus en plus à la manière dont la création d'AMP dans les eaux internationales

pourrait aider la gestion des pêcheries. Cette démarche est motivée, entre autres, par l'échec largement reconnu des outils et organisations traditionnels de gestion des pêcheries dans la résolution de problèmes tels que les prises accidentelles d'espèces menacées et la destruction des habitats des grands fonds marins.

Si l'idée de créer des AMP pour protéger de la pêche au chalut de fond les espèces vulnérables de poissons d'eaux profondes et leurs habitats est largement acceptée, leur utilisation à des fins de gestion des pêcheries pour certaines espèces pélagiques à l'habitat étendu, tels que le marlin et le thon, a fait l'objet de débats³³⁹. D'après une analyse du comportement de la flotte de senne coulissante à proximité de la réserve marine des Galápagos, les bateaux pêchent de plus en plus le long des limites de la réserve, où les prises de thon sont plus importantes qu'aux alentours, dans un contexte caractérisé par un effort de pêche croissant et un recrutement et une productivité des thons en déclin dans toute la région³⁴⁰. Les chercheurs en ont conclu que la réserve des Galápagos avait eu un effet positif pour la pêche pélagique des environs, ce qui constitue un argument supplémentaire en faveur de la création de vastes AMP pour aider à la fois la gestion des pêcheries et la conservation de la biodiversité.

En 2014, une étude de modélisation menée par Crow White et Christopher Costello indiquait que la fermeture totale de la haute mer à la pêche pourrait apporter un refuge suffisamment vaste pour permettre la reconstitution des populations de poissons de haute mer et leur maintien à des niveaux qui contribueraient à maximiser le rendement des pêcheries dans les eaux côtières³⁴¹. De manière générale, l'interdiction totale de pêcher en haute mer engendrerait une importante hausse des profits (>100%), des rendements (>30%), et de la conservation des stocks (>150%) pour les pêcheries. Les auteurs sont bien sûr conscients de la difficulté de mettre en œuvre une telle politique, mais leur travail donne matière à réflexion aux décideurs politiques. Sur la même thématique, Rashid Sumaila et ses collègues ont étudié les résultats d'une protection totale de la haute mer, en tenant compte des connexions existant avec les ZEE des différents pays et du fait que de nombreuses espèces, y compris parmi les plus importantes d'un point de vue commercial, sont très mobiles entre les zones lors de leurs migrations. L'étude s'est penchée sur l'évolution potentielle des captures mondiales si les prises d'espèces ou de taxons chevauchants venaient à augmenter au sein des ZEE à la suite d'une interdiction de pêcher en haute mer³⁴². D'après leurs recherches, moins de 0,01% des taxons de poissons commerciaux, en quantité et en valeur, résultent de prises exclusivement pêchées en haute mer ; ainsi, si les captures de taxons chevauchants augmentaient de 18% en moyenne en conséquence de la fermeture de la haute mer, les prises globales n'enregistreraient aucune perte, grâce au passage de poissons depuis la haute mer vers les ZEE. Sans surprise, l'analyse suggère que certains pays y gagneraient tandis que d'autres seraient perdants en cas d'interdiction totale de pêcher en haute mer.

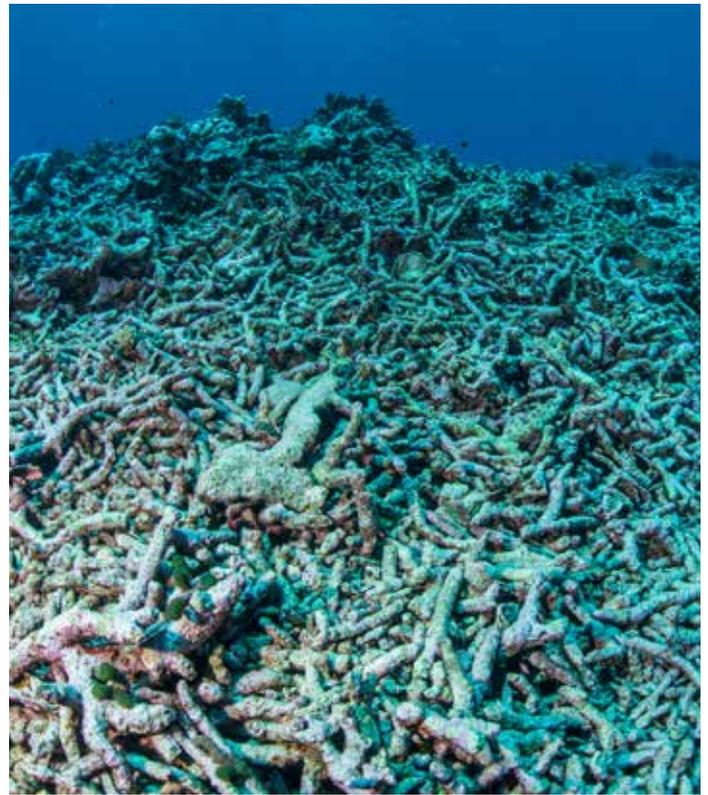
En revanche, la plupart des pays côtiers, parmi lesquels nombre des pays les moins développés au monde, seraient gagnants, ce qui constituerait un point positif en faveur de l'équité.

Préserver de la pêche d'importantes zones de haute mer pourrait donc rapporter des bénéfices considérables pour un coût modique. Par exemple, une étude de 2007 a estimé que la fermeture de 20% de la haute mer à la pêche n'entraînerait qu'une perte de 1,8% des captures déclarées dans le monde, et une baisse des profits pour les flottes de haute mer d'environ 270 millions de dollars US par an seulement³⁴³. Pour garantir que l'effort de pêche ne se déplace pas d'une zone de haute mer protégée à une autre zone dans les eaux internationales, il est capital de mettre en place une réglementation stricte qui prévoit des restrictions permanentes des capacités ainsi qu'une surveillance efficace pour la faire appliquer.

Atténuation des changements climatiques et résilience

Les problèmes généralisés dus aux changements climatiques et à l'acidification des océans doivent être pris à la source en réduisant de façon radicale les émissions de gaz à effet de serre, tout en créant en parallèle des zones hautement protégées pour aider les océans à atténuer les effets du dérèglement climatique et à s'y adapter³⁴⁴. Dans ce cadre, un réseau d'aires hautement protégées en haute mer et dans les fonds marins contribuerait de manière considérable au maintien des processus de séquestration et de stockage du carbone par les océans et ainsi à éviter la perte du carbone stocké. Les principaux mécanismes expliquant de quelle manière les aires marines hautement protégées peuvent aider les océans à atténuer les changements climatiques, à s'y adapter et à séquestrer du carbone sont les suivants :

- la réduction d'autres facteurs de stress tels que la pêche et l'exploitation minière dans les réserves marines prévient la perte de biodiversité, favorise la reconstitution des écosystèmes et maintient donc des services écosystémiques vitaux qui permettent la résilience ;
- les populations de grande taille que l'on trouve dans les réserves marines résistent mieux à l'extinction que les plus petites, car elles forment un tampon plus efficace contre le déclin du nombre d'individus, et leur taux de reproduction plus élevé contribue à renforcer davantage la résilience des populations ;
- le maintien de la diversité génétique augmente les chances pour les espèces de s'adapter à l'évolution des températures de l'eau et à d'autres changements environnementaux ;



Coraux victimes du blanchiment, océan Indien
© Uli Kunz / Greenpeace

- les aires protégées servent parfois de sites d'étape refuge pour les espèces migratoires et de zones de repli sûres pour les « migrants climatiques » ;
- l'identification de zones de l'océan où les conditions sont les plus stables peut mettre au jour des refuges climatiques, à l'instar de l'AMP de la mer de Ross pour les espèces de l'Antarctique dépendantes de la banquise ;
- la protection des fonds marins de tout dommage provenant de l'exploitation minière en eaux profondes ou des lourds équipements de pêche empêchera la libération du carbone stocké dans les sédiments ;
- la protection des poissons mésopélagiques dans les réserves marines de haute mer peut permettre une meilleure absorption du CO₂ et atténuer l'acidification près de la surface grâce à l'excrétion de carbonates intestinaux ;
- les réserves marines peuvent constituer un important réseau d'observatoires et de stations de surveillance écologique et climatique.

Jusqu'à récemment, ni les décideurs ni les gestionnaires des AMP n'ont directement pris en considération les changements climatiques ou l'acidification des océans dans la création, la gestion ou la surveillance des AMP ou des réseaux d'AMP. Toutefois, les choses sont en passe

de changer. Une étude récente montre en effet que des réserves marines protégées de manière stricte sont considérées comme indispensables pour la résilience au dérèglement climatique, qu'elles formeront des sites de référence scientifique nécessaires pour comprendre les effets de ce dérèglement, et que des réserves strictement protégées au niveau écosystémique représentent la meilleure solution face aux incertitudes de l'avenir³⁴⁵.

Par conséquent, la mise en place d'un réseau de réserves marines hautement protégées en haute mer constitue une stratégie d'adaptation viable, nécessitant peu de technologie et d'un bon rapport qualité-prix pour assurer l'avenir de nos océans face à un emballement climatique, et pourrait contribuer de manière significative à la mise en œuvre des engagements des pays signataires de l'Accord de Paris en matière de conservation de la biodiversité des océans et de renforcement de leur résilience³⁴⁶.

L'importance d'une protection à grande échelle

Si la désignation de petites AMP apporte de multiples bénéfices, la création d'un réseau d'AMP à grande échelle présente une importance cruciale pour faire face aux multiples menaces qui pèsent sur le milieu marin ainsi qu'à l'ampleur, à l'étendue et au cumul de leurs différents impacts, comme nous l'avons vu dans ce rapport³⁴⁷. De plus, la taille des aires protégées en haute mer doit correspondre à la dimension des écosystèmes de haute mer. Par exemple, des arguments solides ont été présentés en faveur d'une protection à grande échelle des « forêts » de sargasses flottantes, ces algues brunes de la mer des Sargasses qui fournissent nourriture, abri et lieu de nurserie à des espèces importantes, dont bon nombre sont menacées³⁴⁸. En outre, les AMP de grande taille sont plus à même de protéger les espèces à l'habitat étendu et hautement migratoires, telles que les baleines, tortues, oiseaux marins, requins et thons³⁴⁹ et d'abriter de grandes parties de leurs habitats ; elles fournissent par ailleurs des couloirs protégés reliant entre eux différents habitats, ce



que des AMP plus petites ne sont pas en mesure de faire³⁵⁰. Ces AMP à grande échelle atténuent donc les menaces sur des zones plus étendues ou préservent des aires intactes. Elles sont également susceptibles d'accueillir des espèces dont l'aire de répartition change sous l'effet de la hausse de la TSM ou d'autres changements environnementaux. Étant donné le caractère incertain des effets des changements climatiques, l'augmentation de l'utilisation anthropique des zones situées en dehors de toute juridiction nationale et les répercussions cumulées de tous ces facteurs de stress, les AMP à grande échelle, en protégeant de vastes pans d'océan ayant d'importantes fonctions écologiques, constituent une garantie pour l'avenir³⁵¹.

Si le niveau de protection et la taille d'une AMP sont deux facteurs déterminants pour la conservation, ce ne sont pas les seuls critères à prendre en compte. Ainsi, d'après une étude portant sur 87 aires marines protégées dans le monde, le succès de la conservation, évalué en fonction de la biomasse des poissons, dépend de cinq caractéristiques clés, les meilleurs résultats étant obtenus par celles qui respectent le plus grand nombre de ces caractéristiques³⁵² :

- interdiction totale de la pêche ;
- bonne application des réglementations ;
- mise en place depuis plus de 10 ans ;
- surface de plus de 100 km² (soit relativement vaste) ;
- isolation des zones de pêche par les limites de l'habitat, par exemple les eaux profondes ou le sable.

En résumé, le niveau d'efficacité des réserves marines en termes d'objectifs atteints dépend de manière décisive du niveau de respect et d'application des réglementations, auquel des financements et des ressources idoines doivent être affectés³⁵³. Depuis peu, le développement de nouvelles technologies, telles que l'imagerie satellite, la détection à distance et l'utilisation de drones, a permis d'améliorer de manière significative le respect des AMP à grande échelle créées en haute mer, et ce en dépit de leur isolement³⁵⁴. Enfin, il a été prouvé et documenté que les bénéfices, opportunités et avantages apportés par des AMP bien établies et correctement gérées croissent au fil du temps et forment un élément essentiel du « portefeuille » de gestion fondé sur les écosystèmes, qui permettra de conserver des océans sains de manière durable.

Tortue luth
© Greenpeace/
Jacques Fretey

An aerial photograph of a cracked, dry landscape, possibly a salt flat or a desert. The ground is light-colored and heavily fissured. A large, white number '2' is overlaid in the upper center of the image.

2

CONCEPTION D'UN RÉSEAU D'AIRES MARINES PROTÉGÉES POUR LA HAUTE MER

OBJECTIFS ET APERÇU

Cette étude explore les différentes options possibles dans le cadre de la création d'un réseau d'AMP dans les eaux internationales, son objectif étant d'éclairer les négociations onusiennes qui porteront sur la nature de l'instrument juridique visant à protéger la vie marine en haute mer*. Pour ce faire, nous avons développé un plan de conservation systématique pour les AMP de haute mer en nous appuyant sur des données biologiques, océanographiques, géographiques et socioéconomiques mondiales³⁵⁵. Pour chacun des critères de conservation établis, nous explorons deux niveaux cibles de protection, à savoir 30 % et 50 % de couverture, ces taux correspondant aux ambitions longuement discutées en vue de définir les cibles à atteindre par les futurs objectifs mondiaux de conservation^{356, 357}. Nous mettons ainsi en lumière les aires importantes pour la conservation en recensant les zones fréquemment sélectionnées dans les différents modèles de réseaux générés par notre logiciel. Nous examinons dans quelle mesure les futures AMP pourraient être sélectionnées en s'appuyant à la fois sur la désignation de sites spécifiques et sur la conception coordonnée d'un réseau. Enfin, nous démontrons que des objectifs de protection ambitieux génèrent des réseaux d'AMP interconnectés au niveau des différents bassins océaniques, en tous points différents des réseaux morcelés d'AMP typiquement établis dans les zones côtières, lesquels sont incapables de lutter isolément contre les innombrables défis auxquels les océans sont actuellement confrontés.

* Dans cette étude, le terme « haute mer » est employé pour faire référence aux « zones de l'océan situées en dehors de toute juridiction nationale », et englobe les eaux internationales (eaux situées au-delà du périmètre de souveraineté exercée par les pays au large de leurs côtes) ainsi que l'espace y afférent (fonds marins, plancher océanique et sous-sols situés de fait également au-delà de la juridiction nationale). Cela signifie que notre étude prend en compte l'ensemble des habitats de la haute mer, des fonds marins aux eaux de surface.

MÉTHODES

Zones concernées par l'étude

Notre étude s'est intéressée aux zones situées au-delà des limites des juridictions nationales, à l'exception de celles de Méditerranée. Les eaux internationales méditerranéennes ont en effet été exclues car la biogéographie de cette mer semi-fermée opère à un niveau différent du reste de la haute mer³⁵⁸. Par conséquent, les zones concernées par la présente étude couvrent environ 222 millions de km², soit 61 % de la surface totale des océans, ainsi qu'une profondeur allant de 1 m à 8 631 m.

Procédure utilisée pour la conception d'un réseau d'aires marines protégées assistée par ordinateur

Couramment employée dans la conception des réseaux d'AMP, la planification systématique de la conservation est un outil qui vise à sélectionner des sites représentant une proportion donnée de l'étendue géographique de l'ensemble des critères de conservation pris en compte (par ex. la répartition des espèces ou des habitats ou les variables de ces données), tout en minimisant la taille du réseau et ses coûts socioéconomiques³⁵⁹. Pour identifier les réseaux d'AMP en haute mer atteignant nos objectifs de conservation spécifiques, nous avons donc eu recours à Marxan, un logiciel d'aide à la décision très utilisé dans le cadre de la planification systématique de la conservation³⁶⁰.

Pour utiliser Marxan, nous avons tout d'abord dû définir un nombre d'informations clés (voir « Variables définies dans Marxan », p. 76) avant de diviser la zone sélectionnée devant accueillir le réseau d'AMP en 24 528 petits carrés, appelés unités de planification. Pour ce faire, la planète a été divisée en carrés de cent kilomètres de côté (10 000 km²) puis la grille ainsi constituée a été ajustée à la haute mer. Ainsi, bien que la majorité des unités de planification présentaient la même taille, de plus petites unités chevauchaient certaines ZEE et la côte Antarctique. Par ailleurs étant donné que le monde ne se divise pas parfaitement en unités de 100x100 km², de plus petites unités se trouvaient aussi au niveau de la latitude 90°N et de l'antiméridien. Les critères de conservation (voir « Données », p. 78) ont été cartographiés et attribués aux unités de planification de sorte à ce que Marxan sache, en fonction des unités choisies pour le réseau de protection, quel critère y serait représenté et sur quelle surface. La pêche est l'activité humaine qui sera la plus touchée par la mise en place d'AMP en haute mer, et l'ampleur de cet impact variera en fonction de la valeur socioéconomique des zones océaniques concernées. Pour prendre en compte ces répercussions sur l'activité halieutique et minimiser les éventuelles conséquences socioéconomiques découlant de l'élaboration d'un tel réseau, chaque unité de planification s'est vu attribuer un coût en fonction de l'effort de pêche dont elle fait l'objet. Pour déterminer ce coût, nous avons utilisé les données relatives à l'effort de pêche des chalutiers, des navires à senne coulissante et des palangriers communiquées publiquement entre 2015 et 2017³⁶¹.

VARIABLES DÉFINIES DANS MARXAN

- Des objectifs de conservation pour chaque critère, exprimés en pourcentage de couverture.
- Un coût d'utilisation pour chaque unité de planification défini en utilisant l'effort de pêche comme variable relative aux coûts économiques.
- Un modificateur de longueur de bordure (boundary length modifier - BLM) pour contraindre Marxan à créer des AMP regroupées et éviter les solutions trop morcelées présentant une faisabilité ou une connectivité limitées.
- Un facteur de pénalité imposant un coût au réseau si les objectifs de couverture ne sont pas atteints.
- Le nombre de modélisations (solutions uniques) et d'itérations (répétitions du processus d'optimisation).
- Le statut des unités de planification précisant si celles-ci doivent être automatiquement verrouillées ou non dans le modèle de réseau final. Cela permet que les aires prioritaires pour la protection ou que les aires de gestion déjà existantes soient obligatoirement incluses dans les exemples de réseau proposés et/ou que les aires non favorables en soient exclues.

Un statut a ensuite été attribué à chaque unité de planification, à savoir « disponible », « exclu » ou « inclus » afin de signifier à Marxan si elles étaient disponibles, ou si elles devaient obligatoirement être intégrées dans le résultat ou, au contraire, automatiquement exclues du réseau final. Pour élaborer des réseaux d'AMP tenant compte des efforts de gestion actuels déployés en haute mer (voir « Unités de gestion existantes et sites pressentis pour l'exploitation minière »), nous avons donc inclus certaines unités de gestion existantes, telles que les AMP.

Nous avons en revanche automatiquement exclu des résultats les sites faisant l'objet d'une licence de prospection minière ou réservés à ces fins dans le Pacifique tropical afin d'éviter d'intégrer les sites d'ores et déjà pressentis pour de futures activités d'extraction minière et donc non susceptibles d'être protégés ou ceux dont la protection pourrait entraîner des répercussions socioéconomiques négatives (voir « Unités de gestion existantes et sites pressentis pour l'exploitation minière »). Enfin, pour chaque critère, nous avons déterminé deux niveaux cibles de protection à savoir 30 % et 50 % de couverture. Marxan a ensuite été utilisé pour concevoir des modèles de réseaux d'AMP qui rempliraient ces objectifs tout en minimisant leur coût total.

.....

UNITÉS DE GESTION EXISTANTES ET SITES PRESSENTIS POUR L'EXPLOITATION MINIÈRE

Les unités de gestion existantes étaient des AMP, des écosystèmes marins vulnérables (EMV) interdits à la pêche ainsi que des zones d'intérêt environnemental particulier (ZIEP) interdites aux activités d'exploitation minière en eaux profondes. Nous avons par ailleurs exclu des solutions de planification les sites faisant l'objet de licences de prospection minière ou réservés à ces fins dans le Pacifique tropical, compte tenu du fait que cette zone fait déjà l'objet de nombreuses demandes en la matière et qu'un processus a déjà eu lieu pour y recenser et établir des ZIEP³⁶². Exclure ces sites permet donc d'éviter que les réseaux modélisés intègrent des aires situées dans des sites d'exploration minière en les regroupant avec les ZIEP incluses dans les résultats. Nous n'avons en revanche exclu aucun autre site concédé ou réservé pour la prospection minière puisqu'ailleurs, ces zones n'ont pas fait l'objet d'un examen aussi approfondi en vue de la désignation de ZIEP. Les unités de planification présentant un chevauchement partiel avec des unités de gestion existantes ont été, quant à elles, soit incluses soit exclues du résultat, selon les cas. Lorsque les unités de planification comportaient à la fois des ZIEP et des sites concédés ou réservés à la prospection minière, et pouvaient donc être soit incluses, soit exclues, nous avons pris le parti de les intégrer automatiquement dans le résultat, ceci afin d'accorder la priorité à la conservation plutôt qu'à l'exploitation.

.....

Marxan génère ainsi deux résultats principaux : le premier, à savoir la fréquence de sélection de chaque unité de planification, montre à quelle fréquence chaque unité de planification a été sélectionnée dans le nombre total de modélisations proposées. La fréquence de sélection est en effet souvent citée comme un indicateur irremplaçable de l'importance relative de chaque unité de planification pour la réalisation des objectifs fixés. Le deuxième résultat indique quant à lui la « meilleure » solution, soit le réseau d'AMP qui, pour un scénario donné (par ex., le niveau de protection), atteint les objectifs de conservation fixés tout en présentant le coût le plus bas.

Pour concevoir ce réseau d'AMP, nous sommes partis du principe que la gestion serait constante au sein de la colonne d'eau et dans les fonds marins, et définie géographiquement de sorte à ce que toute unité de planification sélectionnée intègre l'ensemble des critères de conservation, indépendamment de sa profondeur.

DONNÉES

Nous nous sommes notamment servis de Marxan pour identifier les potentielles aires importantes pour la conservation dans l'optique de représenter l'éventail complet des régions biogéographiques, des habitats et des espèces caractérisant les eaux internationales. Nous avons donc défini des critères de conservation reprenant soit les caractéristiques physiques spécifiques de ces écosystèmes, lesquelles sont considérées comme importantes pour la faune et la flore marines et la répartition des espèces et des habitats de haute mer, soit des variables relatives à des écosystèmes semblant présenter une biodiversité propre. Au total, nous avons donc inclus 458 critères de conservation illustrant des caractéristiques océanographiques, biogéographiques, biologiques et biophysiques (voir tableau ci-dessous). Les caractéristiques océanographiques et biophysiques ont été réparties selon les différentes régions biogéographiques ou zones océaniques de sorte à former des groupes susceptibles de présenter une vie marine

distincte. Les zones océaniques ainsi définies étaient l'Atlantique nord, l'Atlantique sud, le Pacifique nord, le Pacifique sud, l'océan Indien, l'océan Arctique et l'océan Austral. Les caractéristiques biologiques et les régions biogéographiques n'ont quant à elles pas été divisées.

Critères de conservation inclus dans les analyses, raisons justifiant leur emploi et méthode de sélection. Pour les données détaillées, voir l'article de O'Leary et al.³⁶³

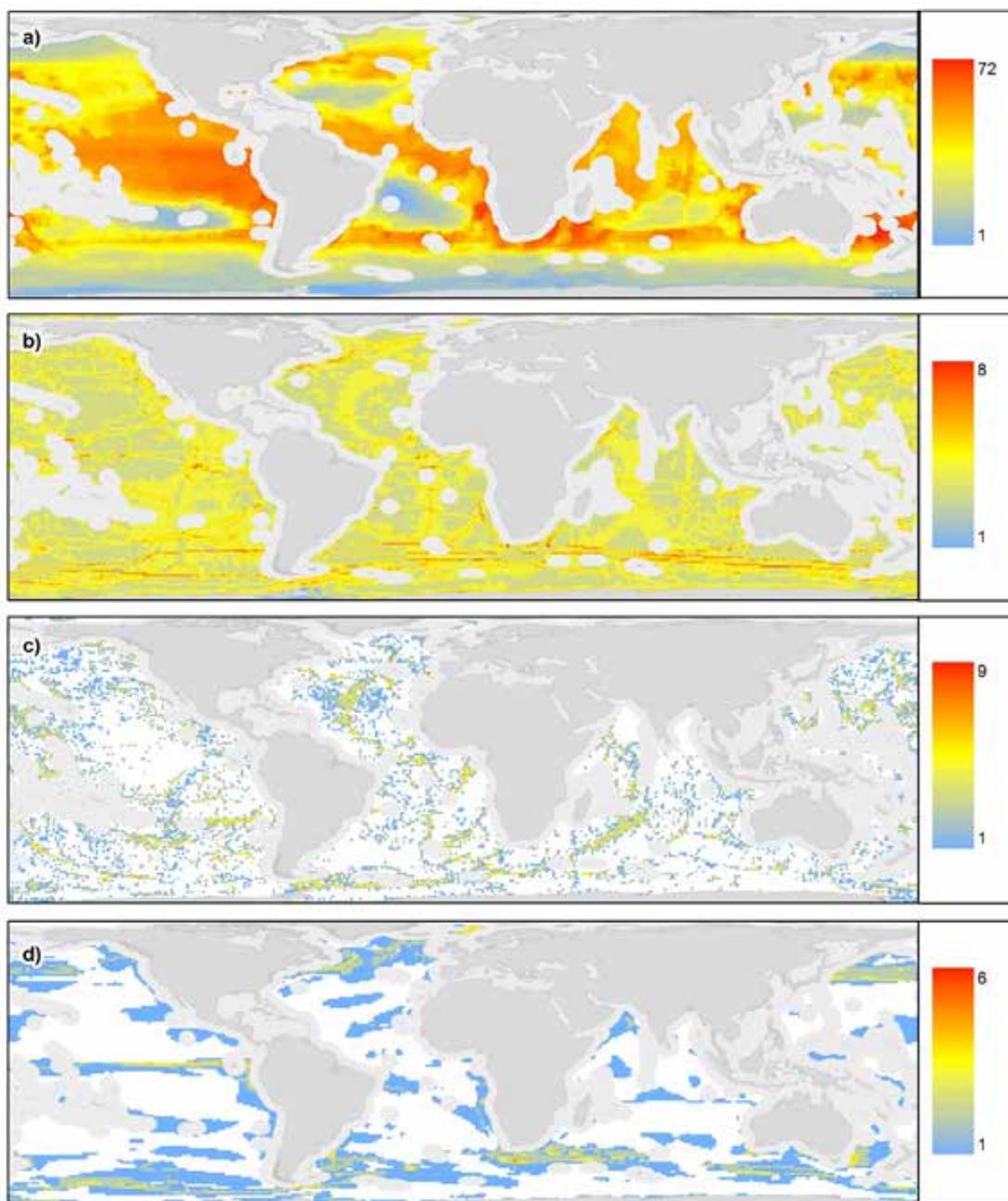
Catégorie de critère	Critère	Raisons justifiant leur emploi et méthode de sélection des données
Océanographique	Gradient de température de surface de la mer (TSM)	Utilisé pour recenser les fronts, les zones de convergence et d'upwelling typiquement associés à une vie marine très abondante. Nous avons sélectionné les unités de planification affichant les 10% des gradients les plus forts au sein de chaque zone océanique. Toutes les cellules issues d'une même zone océanique ont été considérées comme un seul et même critère de conservation.
	Zones océaniques présentant une variabilité interannuelle élevée/basse au niveau des TSM à long terme.	Utilisées pour représenter les écosystèmes pouvant être naturellement résilients ou davantage épargnés par les futurs changements environnementaux. Nous avons sélectionné les unités de planification affichant les 10% de variations les plus élevées/basses au niveau des TSM au sein de chaque zone pélagique. Toutes les cellules issues d'une même zone pélagique ont été considérées comme un seul et même critère de conservation.
	Productivité primaire nette	Influe sur la répartition et l'abondance de la vie marine. Nous avons sélectionné les unités de planification affichant les 10% des valeurs les plus élevées en termes de productivité primaire au sein de chaque zone océanique. Toutes les cellules issues d'une même zone océanique ont été considérées comme un seul et même critère de conservation.
	Zones de downwelling (formation intermédiaire/ en eaux profondes)	Zones importantes pour le transfert des nutriments dans l'océan et la ventilation des eaux profondes, constituant souvent des sites de concentration de vie marine animale et végétale. Chaque zone de downwelling a été considérée comme un critère de conservation à part entière.

Catégorie de critère	Critère	Raisons justifiant leur emploi et méthode de sélection des données
Biophysique	Répartition des champs de cheminées hydrothermales	Hauts lieux d'endémisme et de biodiversité, vulnérables aux perturbations et aux détériorations, et pouvant abriter de précieux gisements de minéraux et de minerais. Sous-divisés en zones biogéographiques bathyales, abyssales et hadales. L'un des champs d'événements hydrothermaux considérés était moins profond que les zones benthiques prises en compte, et a donc été considéré comme un critère de conservation à part entière.
	Répartition des monts sous-marins	Hauts lieux d'endémisme et de biodiversité, vulnérables aux perturbations et aux détériorations. Sous-divisés en écorégions/zones biogéographiques bathyales, abyssales, hadales, mésopélagiques, pélagiques et côtières.
	Répartition des herbiers marins	Habitat unique de la haute mer permettant une productivité élevée et représentant un refuge crucial pour l'alimentation, la reproduction et la croissance de nombreuses espèces. Considéré comme un critère de conservation à part entière.
	Répartition des coraux d'eaux froides	Habitats structurels importants supportant une diversité considérable et une productivité élevée, et s'avérant vulnérables aux perturbations et aux détériorations. Sous-divisés en zones biogéographiques bathyales, abyssales et hadales. Moins profonds que les zones benthiques prises en compte, sous-divisés par groupes de profondeur de 0-200 m et 200-800 m.
	Complexité du fond marin	Associé à une haute diversité d'espèces en raison des refuges et microhabitats qu'il abrite. Nous avons sélectionné les unités de planification contenant les 10 % des valeurs les plus élevées en termes de complexité moyenne des fonds marins au sein de chaque zone océanique. Toutes les cellules issues d'une même zone océanique ont été considérées comme un seul et même critère de conservation.
Biologique	Répartition des requins et raies (n=30)	Représentent des espèces suscitant une inquiétude du point de vue de la conservation, importantes du point de vue commercial et de la biodiversité de manière plus large. Les espèces choisies sont celles dont plus de 25 % de la répartition mondiale se trouve en haute mer. L'aire de répartition de chaque espèce a été considérée comme un critère de conservation à part entière.
	Répartition des pinnipèdes (n=9)	
	Répartition des cétacés (n=49)	
	Répartition des thons et des marlins (n=19)	
	Répartition des autres espèces de poissons (n=21)	
	Répartition des tortues (n=1)	
Biogéographique	Écorégions côtières (n=19)	Chaque zone/écorégion a été considérée comme un critère de conservation à part entière.
	Zones pélagiques (n=32)	
	Écorégions mésopélagiques (n=29)	
	Zones bathyales-benthiques (n=14)	
	Zones abyssales-benthiques (n=13)	
	Zones hadales-benthiques (n=7)	

RÉSULTATS

Les critères de conservation inclus pour l'élaboration des potentiels réseaux reflètent la grande variété et variabilité de la biodiversité et des conditions rencontrées en haute mer (figure 3). Nombre des espèces prises en compte présentent des aires de répartition étendues qui se chevauchent, en particulier dans les tropiques et les zones de convergence subtropicales (figure 3a). Les biogéographies épipélagiques, mésopélagiques et benthiques quant à elles fusionnent et se recoupent, formant ainsi des zones identifiables de concentration des critères (figure 1b) tandis que les critères biophysiques (figure 3c) et océanographiques (figure 3d) présentent des étendues géographiques plus délimitées.

Figure 3 : Nombre total de critères de conservation par unité de planification de 100x100 km² situés dans des zones ne relevant d'aucune juridiction nationale, répartis en : (a) critères de biodiversité, (b) régions biogéographiques, (c) caractéristiques biophysiques et (d) caractéristiques océanographiques.



Aires d'importance pour la réalisation des objectifs de conservation

Les unités de planification ayant été fréquemment sélectionnées dans les solutions de planification proposées sont considérées comme essentielles pour atteindre les objectifs de conservation. La figure 4 montre les unités sélectionnées dans la majorité ($\geq 75\%$) des analyses. Ces unités couvraient 13,8% des eaux internationales dans les réseaux présentant une couverture de 30% de chaque critère de conservation, et elles ont été fréquemment sélectionnées en raison de leur importance pour la réalisation des objectifs fixés. À cet égard, il convient toutefois de noter que ces unités de planification fréquemment sélectionnées ne peuvent atteindre seules l'intégralité des objectifs de conservation et doivent donc être associées à des aires revenant moins régulièrement dans les simulations, de sorte à former un réseau représentatif d'AMP. Les aires moins fréquemment sélectionnées par Marxan étaient en l'occurrence celles dont les unités de planification ne devaient pas forcément être incluses dans la solution pour atteindre les objectifs fixés. Lorsque le niveau de couverture était fixé à 50% pour chacun des critères de conservation, des unités de planification couvrant 23,7% des eaux internationales sont revenues dans plus de 75% des réseaux modélisés.

Nombre d'aires d'importance écologique reconnue (par ex. les ZIEB et les zones importantes pour la conservation des oiseaux et de la biodiversité) ont été stratégiquement sélectionnées comme importantes par Marxan. D'autres zones océaniques ont été fréquemment retenues par

le logiciel car elles permettaient que le niveau cible de protection d'un ou plusieurs critères de conservation soit atteint. Si ces sites ne sont pas forcément plus importants que d'autres sur le plan écologique, ils peuvent néanmoins être considérés comme irremplaçables ou presque pour la représentation de nos critères de conservation. De telles aires pourraient ainsi faire l'objet de nouvelles études de terrain de sorte à définir plus précisément leur importance pour la biodiversité et ainsi éclairer la nécessité de leur intégration, ou non, dans un futur réseau d'AMP. La planification systématique de la conservation aide donc à attirer l'attention sur des régions susceptibles d'avoir été omises. À l'inverse, certains sites reconnus pour leur haute importance écologique, telles que le Dôme thermal du Costa Rica ou le « White Shark Café », ne sont pas toujours apparus dans les exemples de réseau générés par nos analyses³⁶⁴. Cela s'explique probablement par le fait que les critères de conservation biologiques utilisés pour générer des modèles de réseaux n'incluaient aucune information sur l'intensité de l'usage des lieux par la faune marine, ces données n'étant pas disponibles pour l'ensemble des zones ne relevant d'aucune juridiction nationale ou des espèces.

La planification systématique de la conservation constitue ainsi un outil clé d'aide à la prise de décision en générant des modèles de réseaux représentatifs d'AMP en haute mer pouvant être conçus de manière économique, transparente et raisonnée³⁶⁵. Toutefois, pour que les connaissances relatives à la vie marine et aux sites d'importance soient intégralement représentées dans la planification systématique de la conservation, il convient d'adopter une approche mixte de la sélection des sites associant les connaissances des scientifiques et des spécialistes et la consultation des différents acteurs.

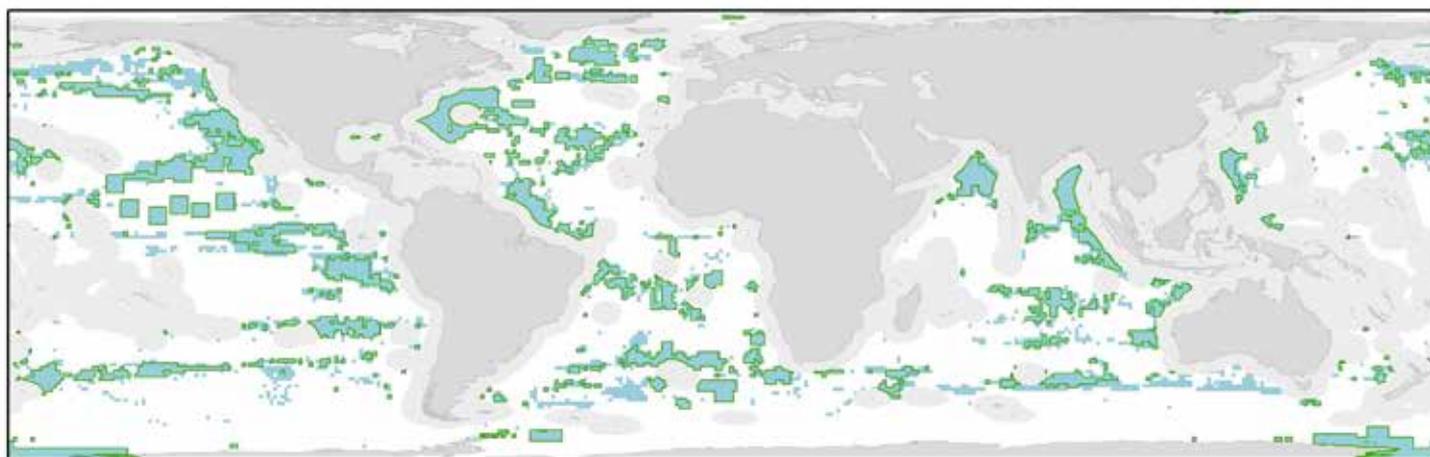


Figure 4 : Aires d'importance pour la réalisation des objectifs de conservation basées sur la fréquence de sélection de chaque unité de planification pour une couverture de 30% (aires au contour vert) et de 50% (aires en bleu sans contour) de tous les critères de conservation avec inclusion/exclusion des unités de gestion existantes. Les résultats se fondent sur 200 analyses générées par Marxan avec un modificateur de longueur de bordure égal à 0. Seules les unités de planification retenues dans $\geq 75\%$ des solutions apparaissent.

Sites clés sélectionnés par Marxan et critères de conservation associés

Comme le montre la figure 4, Marxan a sélectionné de nombreuses zones d'importance pour la réalisation des objectifs de conservation fixés. Nous avons retenu et décrit 16 de ces sites clés en haute mer afin de fournir des exemples d'aires d'importance situées dans le monde entier, en nous appuyant sur les unités de planification sélectionnées dans plus de 90% des solutions lorsque les objectifs de couverture étaient fixés à 30% pour chaque critère de conservation. Nous avons appliqué ce seuil de $\geq 90\%$ afin de souligner le caractère irremplaçable de ces sites dans la quasi-totalité des solutions de planification. Dans certains cas, des aires voisines ont été regroupées avec le site clé pour faciliter leur description, à l'instar de la région du Pacifique équatorial (n°2 sur la figure 5), du Sud des Galápagos (n°3) et de la dorsale Sala y Gómez (n°4). (number 4).

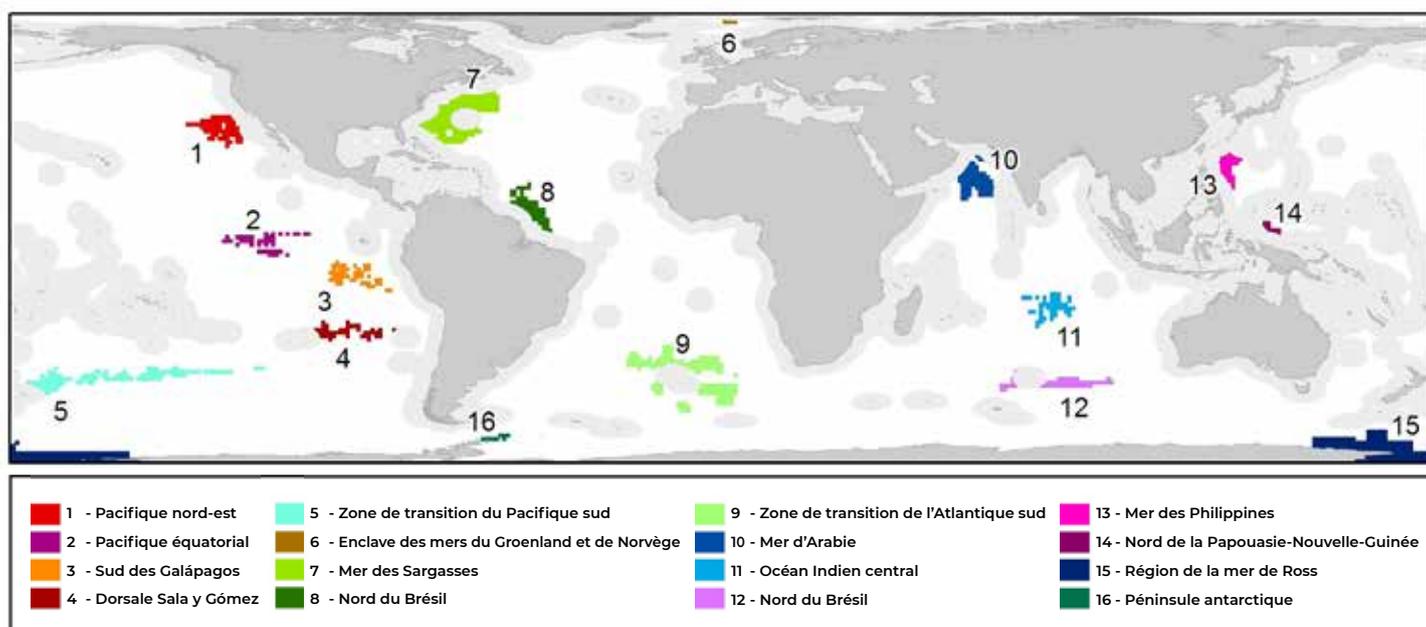


Figure 5 : Exemples de sites clés pour la réalisation des objectifs de conservation. Chaque couleur représente des aires formant une seule et même unité. Les numéros doivent être croisés avec ceux du tableau 2 qui fournit des informations détaillées sur les critères de conservation présents au sein de chaque aire.

Données relatives aux sites clés décrits dans la figure 5 et aux critères de conservation associés. Les numéros doivent être croisés avec ceux de la figure 5.

	Zone océanique	Critères de conservation représentés			
		Caractéristiques océanographiques	Espèces	Caractéristiques biophysiques	Régions biogéographiques
1.	Pacifique nord	<p>Productivité primaire nette élevée</p> <p>Aire affichant une variabilité interannuelle élevée au niveau des TSM à long terme (c'est-à-dire les aires abritant des espèces et des communautés potentiellement bien adaptées aux variations et aux changements futurs).</p> <p>Aire affichant une faible variabilité interannuelle au niveau des TSM à long terme (c'est-à-dire les aires où les changements futurs seront potentiellement moindres).</p>	<p>17x requins et raies</p> <p>23x cétacés</p> <p>11x thons et marlins</p> <p>3x autres poissons</p> <p>1x pinnipède</p> <p>1x tortue</p>	<p>Monts sous-marins</p> <p>Coraux d'eaux froides</p> <p>Fonds marins présentant une grande complexité</p>	<p>3x zones pélagiques</p> <p>2x écorégions mésopélagiques</p> <p>1x zone bathyale-benthique</p> <p>2x zones abyssales-benthiques</p>
2.	Pacifique équatorial	<p>Fort gradient de TSM.</p> <p>Productivité primaire nette élevée.</p> <p>Aire affichant une variabilité interannuelle élevée au niveau des TSM à long terme (c'est-à-dire les aires abritant des espèces et des communautés potentiellement bien adaptées aux variations et aux changements futurs).</p>	<p>24x requins et raies</p> <p>23x cétacés</p> <p>11x thons et marlins</p> <p>3x autres poissons</p> <p>1x tortue</p>	<p>Monts sous-marins</p> <p>Fonds marins présentant une grande complexité</p>	<p>2x zones pélagiques</p> <p>1x écorégion mésopélagique</p> <p>3x zones bathyales-benthiques</p> <p>2x zones abyssales-benthiques</p>
3.	Pacifique sud	<p>Productivité primaire nette élevée.</p>	<p>25x requins et raies</p> <p>24x cétacés</p> <p>13x thons et marlins</p> <p>4x autres poissons</p> <p>1x tortue</p>	<p>Monts sous-marins</p> <p>Fonds marins présentant une grande complexité</p>	<p>2x zones pélagiques</p> <p>3x écorégions mésopélagiques</p> <p>1x zone bathyale-benthique</p> <p>1x zone abyssale-benthique</p>

	Zone océanique	Critères de conservation représentés			
		Caractéristiques océanographiques	Espèces	Caractéristiques biophysiques	Régions biogéographiques
4.	Pacifique sud	Aire affichant une faible variabilité interannuelle au niveau des TSM à long terme (c'est-à-dire les aires où les changements futurs seront potentiellement moindres).	18x requins et raies 24x cétacés 13x thons et marlins 5x autres poissons	Monts sous-marins Coraux d'eaux froides Fonds marins présentant une grande complexité	2x zones pélagiques 1x écorégion mésopélagique 2x zones bathyales-benthiques 1x zone abyssale-benthique
5.	Pacifique sud	Fort gradient de TSM. Productivité primaire nette élevée. Aire affichant une variabilité interannuelle élevée au niveau des TSM à long terme (c'est-à-dire les aires abritant des espèces et des communautés potentiellement bien adaptées aux variations et aux changements futurs). Aire affichant une faible variabilité interannuelle au niveau des TSM à long terme (c'est-à-dire les aires où les changements futurs seront potentiellement moindres).	15x requins et raies 29x cétacés 12x thons et marlins 7x autres poissons 1x pinnipède 1x tortue	Monts sous-marins Coraux d'eaux froides Fonds marins présentant une grande complexité	2x zones pélagiques 2x écorégions mésopélagiques 2x zones bathyales-benthiques 1x zone abyssale-benthique 1x zone hadale-benthique
6.	Arctique	Fort gradient de TSM. Downwellings. Aire affichant une variabilité interannuelle élevée au niveau des TSM à long terme (c'est-à-dire les aires abritant des espèces et des communautés potentiellement bien adaptées aux variations et aux changements futurs).	9x cétacés 2x autres poissons 1x pinnipède	Monts sous-marins Fonds marins présentant une grande complexité	1x zone pélagique 1x écorégion mésopélagique 1x zone bathyale-benthique 1x zone abyssale-benthique

Zone océanique	Critères de conservation représentés			
	Caractéristiques océanographiques	Espèces	Caractéristiques biophysiques	Régions biogéographiques
7. Atlantique nord	<p>Fort gradient de TSM.</p> <p>Productivité primaire nette élevée.</p> <p>Aire affichant une variabilité interannuelle élevée au niveau des TSM à long terme (c'est-à-dire les aires abritant des espèces et des communautés potentiellement bien adaptées aux variations et aux changements futurs).</p> <p>Aire affichant une faible variabilité interannuelle au niveau des TSM à long terme (c'est-à-dire les aires où les changements futurs seront potentiellement moindres).</p>	<p>22x requins et raies</p> <p>30x cétacés</p> <p>12x thons et marlins</p> <p>7x autres poissons</p> <p>1x tortue</p>	<p>Monts sous-marins</p> <p>Coraux d'eaux froides</p> <p>Fonds marins présentant une grande complexité</p>	<p>3x zones pélagiques</p> <p>3x écorégions mésopélagiques</p> <p>1x zone bathyale-benthique</p> <p>1x zone abyssale-benthique</p>
8. Atlantique nord	Données non disponibles.	<p>22x requins et raies</p> <p>21x cétacés</p> <p>11x thons et marlins</p> <p>2x autres poissons</p> <p>1x tortue</p>	Monts sous-marins	<p>1x zone pélagique</p> <p>2x écorégions mésopélagiques</p> <p>1x zone bathyale-benthique</p> <p>1x zone abyssale-benthique</p>
9. Atlantique sud	<p>Fort gradient de TSM.</p> <p>Downwellings.</p> <p>Aire affichant une variabilité interannuelle élevée au niveau des TSM à long terme (c'est-à-dire les aires abritant des espèces et des communautés potentiellement bien adaptées aux variations et aux changements futurs).</p>	<p>18x requins et raies</p> <p>34x cétacés</p> <p>11x thons et marlins</p> <p>9x autres poissons</p> <p>4x Pinnipèdes</p> <p>1x tortue</p>	<p>Monts sous-marins</p> <p>Champs d'événements hydrothermaux</p> <p>Coraux d'eau froide</p> <p>Fonds marins présentant une grande complexité</p>	<p>4x zones pélagiques</p> <p>4x écorégions mésopélagiques</p> <p>2x zones bathyales-benthiques</p> <p>4x zones abyssales-benthiques</p>

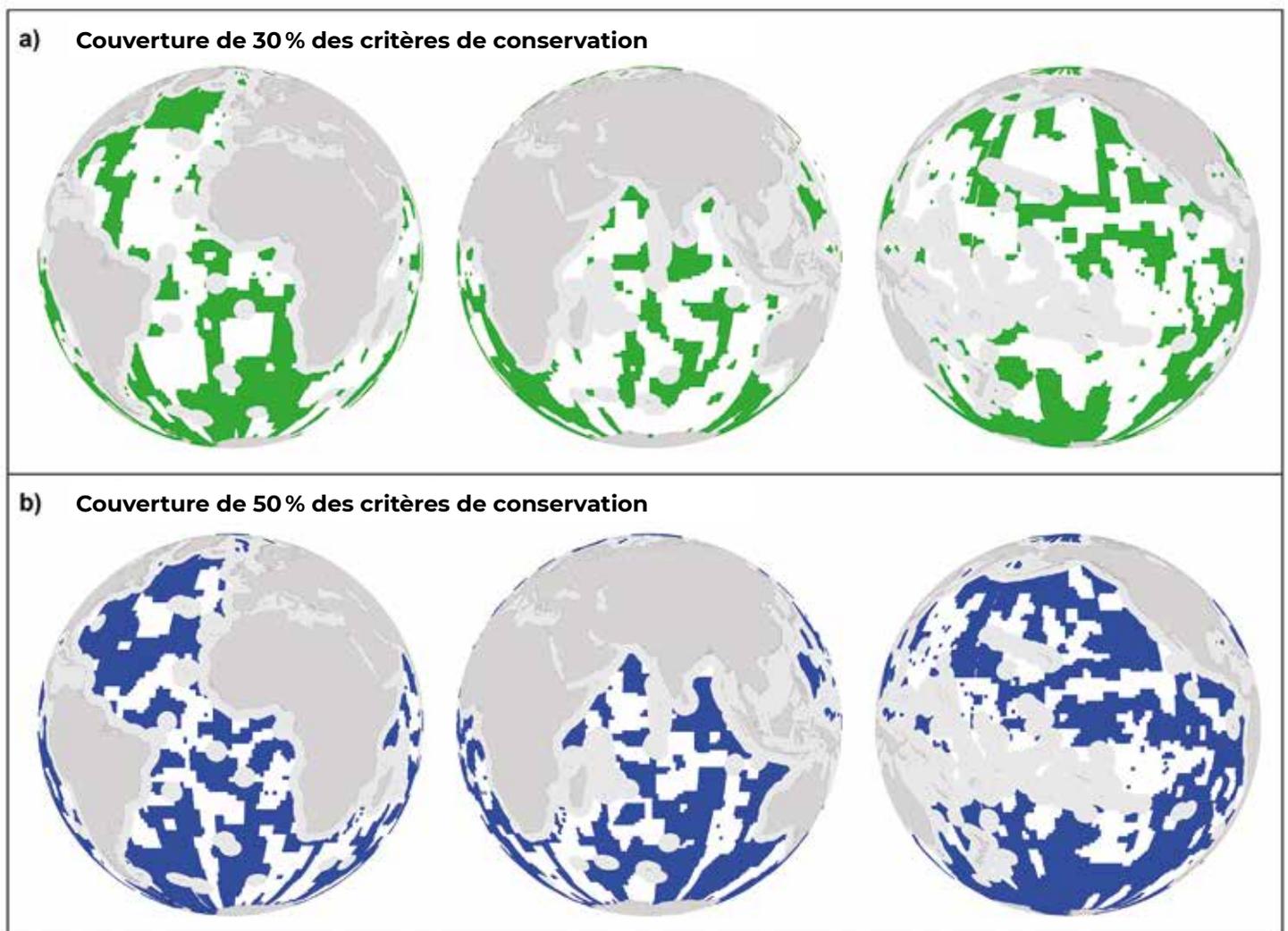
	Zone océanique	Critères de conservation représentés			
		Caractéristiques océanographiques	Espèces	Caractéristiques biophysiques	Régions biogéographiques
10.	Océan Indien	Productivité primaire nette élevée. Aire affichant une faible variabilité interannuelle au niveau des TSM à long terme (c'est-à-dire les aires où les changements futurs seront potentiellement moindres).	22x requins et raies 19x cétacés 10x thons et marlins 4x autres poissons 1x tortue	Monts sous-marins	2x zones pélagiques 3x écorégions mésopélagiques 1x zone bathyale-benthique 1x zone abyssale-benthique
11.	Océan Indien	Aire affichant une variabilité interannuelle élevée au niveau des TSM à long terme (c'est-à-dire les aires abritant des espèces et des communautés potentiellement bien adaptées aux variations et aux changements futurs).	24x requins et raies 17x cétacés 11x thons et marlins 7x autres poissons	Monts sous-marins Fonds marins présentant une grande complexité	2x zones pélagiques 2x écorégions mésopélagiques 1x zone bathyale-benthique 1x zone abyssale-benthique 1x zone hadale-benthique
12.	Océan Indien	Productivité primaire nette élevée. Aire affichant une faible variabilité interannuelle au niveau des TSM à long terme (c'est-à-dire les aires où les changements futurs seront potentiellement moindres).	14x requins et raies 29x cétacés 11x thons et marlins 8x autres poissons 2x pinnipèdes	Monts sous-marins Champs d'événements hydrothermaux	2x zones pélagiques 2x écorégions mésopélagiques 1x zone bathyale-benthique 1x zone abyssale-benthique
13.	Pacifique nord	Aire affichant une faible variabilité interannuelle au niveau des TSM à long terme (c'est-à-dire les aires où les changements futurs seront potentiellement moindres).	24x requins et raies 9x cétacés 11x thons et marlins 3x autres poissons	Monts sous-marins Fonds marins présentant une grande complexité	1x zone pélagique 1x écorégion mésopélagique 1x zone bathyale-benthique 1x zone abyssale-benthique 1x zone hadale-benthique

	Zone océanique	Critères de conservation représentés			
		Caractéristiques océanographiques	Espèces	Caractéristiques biophysiques	Régions biogéographiques
14.	Pacifique nord	Aire affichant une faible variabilité interannuelle au niveau des TSM à long terme (c'est-à-dire les aires où les changements futurs seront potentiellement moindres).	21x requins et raies 11x cétacés 10x thons et marlins 2x autres poissons	N/D	1x zone pélagique 1x écorégion mésopélagique 1x zone bathyale-benthique 1x zone abyssale-benthique
15.	Océan Austral	Fort gradient de TSM. Downwellings Productivité primaire nette élevée. Aire affichant une faible variabilité interannuelle au niveau des TSM à long terme (c'est-à-dire les aires où les changements futurs seront potentiellement moindres).	14x cétacés 4x autres poissons 6x pinnipèdes	Monts sous-marins Champs d'événements hydrothermaux Coraux d'eaux froides Fonds marins présentant une grande complexité	2x écorégions côtières 2x zones pélagiques 1x écorégion mésopélagique 1x zone bathyale-benthique 3x zones abyssales-benthiques
16	Océan Austral	Downwellings	11x cétacés 3x autres poissons 6x pinnipèdes	Monts sous-marins Champs d'événements hydrothermaux Coraux d'eaux froides Fonds marins présentant une grande complexité	2x écorégions côtières 1x zone pélagique 1x écorégion mésopélagique 1x zone bathyale-benthique 1x zone abyssale-benthique

Conception d'un réseau d'AMP en haute mer

La figure 6 illustre des exemples de réseau d'AMP en haute mer avec un niveau de couverture fixé à 30 % et 50 % pour chaque critère de conservation*. Ces modèles de réseau ont été choisis parce qu'ils atteignent les objectifs fixés en matière de protection pour tous les critères de conservation que nous avons inclus tout en affichant les coûts les plus bas. Toutefois, le nombre de configurations respectant les critères fixés étant élevé, ces exemples ne constituent en aucun cas les seuls modèles de réseaux possibles, mais présentent certaines des solutions envisageables permettant d'éclairer les premières consultations avec les différents acteurs concernés.

Ces exemples de réseau d'AMP en haute mer couvrent 41,8 % des zones situées en dehors des juridictions nationales pour le scénario de protection de 30 % et 59,2 % pour celui de 50 %. Ils affichent par ailleurs une bonne répartition latitudinale et longitudinale des aires dans l'ensemble des zones océaniques, démontrant ainsi que même si nos connaissances de la haute mer sont limitées, il est néanmoins possible de collecter à l'échelle mondiale des données spatiales relatives aux critères de conservation permettant d'appuyer la conception d'un réseau d'AMP. Toutefois, compte tenu des lacunes existantes en matière de données, il convient de compléter ces critères de conservation à l'aide des connaissances approfondies des experts et des parties prenantes dans le cadre d'une approche de sélection mixte.



* Si chaque exemple de réseau peut être décrit en termes de niveau de protection, d'incidence sur le déplacement de l'effort de pêche et de couverture des sites d'exploitation minière, entre autres, il est important de noter que ces résultats ne sont pas directement comparables, les relations entre les données ne pouvant être transposées d'un scénario à l'autre. Cela est dû au fait que les paramètres de départ (BLM et facteurs de pénalité) appliqués dans Marxan pour les deux scénarios de protection, à savoir 30 % et 50 %, sont différents, et modifient par conséquent les calculs d'optimisation réalisés par le logiciel.

Figure 6 : Exemples de réseau d'AMP pour une couverture de (a) 30 % et (b) 50 % de chaque critère de conservation avec inclusion/exclusion des unités de gestion existantes, tirés des « meilleures » solutions recensées par Marxan. Le BLM appliqué était de 0,050 pour (a) et de 0,025 pour (b), et les facteurs de pénalité de 825 pour (a) et de 1 400 pour (b).

Par ailleurs, les réseaux d'AMP modélisés dans le cadre du scénario de protection à 50 % sont à l'opposé des dispositifs actuels de gestion et de conservation des systèmes côtiers. En effet, contrairement aux aires protégées existantes, de petite taille et formant des îlots isolés au milieu de vastes zones consacrées à l'exploration humaine, on observe dans ces propositions l'apparition de filets de protection au sein desquels subsistent quelques zones destinées à l'activité humaine. Cette approche aboutit donc à la création d'un vaste réseau d'AMP hauturières entrelacées et contiguës, permettant une connectivité sur de longues distances et capable de répondre en partie aux problèmes de conservation des espèces extrêmement mobiles et migratoires, comme les thons ou les baleines³⁶⁶. Ce type de réseau augmente la probabilité que la structure, les processus et les services écosystémiques soient préservés, et crée des corridors et des sites d'étape permettant à la faune marine de s'adapter aux changements de leur environnement tout en protégeant également les refuges de dernier recours.

Dans le scénario de couverture à 30 %, Marxan a inclus dans son exemple de réseau 35,5 % des aires dans lesquelles les flottes de pêche hauturière ont opéré entre 2015 et 2017. Avec un niveau de protection à 50 %, cette représentation passait à 54,2 %. Toutefois, l'effort de pêche n'étant pas égal partout, et compte tenu du coût appliqué aux unités de planification affichant un effort de pêche élevé de sorte à ce que Marxan évite autant que possible les unités les plus profitables au secteur, l'effort de pêche a en réalité été peu affecté dans nos modèles de réseau. En effet, les exemples illustrés sur les figures 6a (niveau de protection de 30 %) et 6b (niveau de protection de 50 %) ne déplacent respectivement que 22 % et 32 % de l'effort de pêche.

De même, les modélisations affichant des objectifs de conservation de 30 % et 50 % couvraient respectivement 6 % et 10 % des zones réservées à l'exploitation minière. En revanche, lorsque nous avons demandé à Marxan de générer des solutions sans empiéter sur les activités minières (c'est-à-dire en excluant des résultats les zones faisant l'objet d'une licence d'exploitation minière ou réservées à ces fins, et en incluant automatiquement les ZIEP du Pacifique), les réseaux couvraient respectivement 41 % et 60 % des zones d'exploitation minière. En d'autres termes, nombre d'autorisations d'exploitation ont été accordées pour des sites importants du point de vue de nos critères de conservation et présentant une grande valeur en termes de biodiversité ou de fonctions écosystémiques^{367, 368}.

Les effets socioéconomiques de la désignation d'un réseau d'AMP en haute mer seront différents de ceux générés par les réseaux côtiers. Les navires de pêche hauturière, par exemple, parcourent déjà de longues distances pour atteindre leurs zones d'activité ; la modification de leurs itinéraires pourrait donc ne pas avoir d'incidence sur le temps ou le coût de transport. De plus, la pêche hauturière représente moins de 5 % des captures annuelles en mer,

et seuls les pays riches et les grands groupes industriels exploitent les ressources de ces eaux internationales^{369, 370, 371}. Certes, l'établissement d'un réseau d'AMP à grande échelle entraînera des coûts pour les flottes de pêche en haute mer, mais elle apportera également d'importants bénéfices sociaux, économiques et écologiques aux échelles mondiale et nationale^{372, 373, 374, 375}. En effet, en protégeant la vie marine, les AMP de haute mer contribueront à réduire les inégalités en redistribuant les profits tirés de la pêche aux pays n'exploitant pas les eaux internationales et généreront d'importants bénéfices au niveau mondial en préservant les services écosystémiques.

Désignation et mise en place d'AMP en haute mer

Comme nous l'avons expliqué ci-dessus, nous estimons que pour la conception d'un tel réseau, il convient d'adopter une approche mixte de sélection des sites associant connaissances des experts, consultation des parties prenantes et planification systématique de la conservation afin de garantir que les modèles de réseau élaborés représentent pleinement la vie marine de haute mer. À cet égard, les résultats des consultations avec les différents acteurs concernés pourront être utilisés dans la planification systématique afin de passer en revue les modèles de réseau selon un procédé itératif et ainsi s'assurer que les objectifs de conservation sont bien atteints, que les connaissances des experts ont bien été prises en compte et que le projet est bien accepté au niveau social et politique. Cette méthode a d'ailleurs été testée avec succès lors du rezonage du Parc marin de la Grande barrière de corail en Australie³⁷⁶.

Dans certains cas, les endroits considérés comme ayant un caractère irremplaçable, tels que la mer des Sargasses (figures 4 et 5) pourront former des AMP isolées³⁷⁷. D'autres pourront constituer des noyaux autour desquels des AMP plus vastes pourront être créées, ou, dans le cas de la dorsale de Sala y Gómez/Nazca, les AMP de haute mer pourront chevaucher celles existant au sein des eaux nationales³⁷⁸. Ce réseau de protection pourra également servir à soutenir les efforts nationaux de gestion et de conservation de la vie marine en éloignant davantage des ZEE les flottes de pêche de haute mer, ce qui permettra d'augmenter les chances de survie des poissons se déplaçant hors des eaux nationales, et contribuera à réduire la fréquence des incursions illégales dans ces zones.

De plus, la conception d'un réseau d'AMP en haute mer doit tenir compte non seulement de la situation actuelle, mais aussi des bouleversements rapides à venir dans l'environnement marin, générés par les changements climatiques, l'acidification des océans et leurs effets³⁷⁹. Compte tenu des modifications d'ores et déjà à l'œuvre et de celles annoncées, il est certain que les futurs écosystèmes marins seront différents de ceux que nous connaissons aujourd'hui. Cela étant, prévoir précisément

ces changements demeure complexe en raison des incertitudes quant à la probabilité et à la structure de ces changements pour un scénario moyen, ainsi que de leur variabilité aux échelons local et régional, d'autant que la modification des aires de répartition de certaines espèces et les restructurations d'écosystèmes qui en découleront sont susceptibles d'entraîner des situations écologiques imprévues³⁸⁰.

Aussi, notre méthode de conception de réseaux tient compte des changements climatiques et de l'incertitude de trois manières différentes :

- via la constitution d'un « portefeuille » de protection, c'est-à-dire la représentation d'un éventail d'habitats, de sites et de conditions environnementales à travers les océans du monde entier, pour minimiser les risques³⁸¹ ;
- par l'adoption d'une couverture large qui favorise la connectivité, les sites d'étape et les corridors de déplacement^{382, 383} ; et
- par l'utilisation novatrice des données historiques relatives à la température de la surface de la mer (TSM) permettant d'identifier les zones enregistrant une variabilité thermique naturelle relativement élevée/faible, dont les écosystèmes sont résilients par nature ou relativement protégés contre les futurs changements^{384, 385}.

L'efficacité de la gestion de la haute mer, qu'il s'agisse des AMP ou encore des activités de suivi, de contrôle et de surveillance, dépendra directement des mécanismes mis en place et de la structure de la gouvernance établie par le nouvel instrument international juridiquement contraignant qui sera négocié par les Nations unies. Si la technologie facilite de plus en plus le suivi des activités humaines au sein des zones ne relevant d'aucune juridiction nationale, une véritable volonté politique sera néanmoins nécessaire pour signer, ratifier, adopter puis mettre en œuvre ce projet de réseau d'AMP ainsi que des mesures de gestion idoines^{386, 387}. En réalité, coordonner la sélection, l'établissement et la gestion d'un réseau mondial conjoint d'AMP en haute mer élaboré dans le cadre d'une approche de sélection mixte semble impossible au sein du cadre réglementaire morcelé tel qu'il existe aujourd'hui. Ce constat est étayé par l'incapacité du système de gouvernance actuel, malgré des années de tentatives, à protéger des lieux spécifiques tels que la mer des Sargasses³⁸⁸. Un nouveau cadre institutionnel mondial, élaboré sous l'égide d'un instrument international juridiquement contraignant ad hoc, sera donc nécessaire pour faciliter la sélection, la création et la gestion d'AMP dans les eaux internationales. Par ailleurs, faire collaborer les différentes juridictions pour l'élaboration d'un réseau d'AMP se révèle bien plus efficace que le déploiement d'actions isolées et non coordonnées^{389, 390}. Ainsi, pour concevoir ce réseau en haute mer, l'adoption d'une approche mondiale, plutôt que régionale, via un nouveau cadre mondial institutionnel, contribuerait à optimiser la surface totale dudit futur réseau et donc, son impact socioéconomique.

Enfin, pour être efficace, la protection de la biodiversité de la haute mer devra également faire l'objet d'une gestion bien plus ambitieuse et d'un important renforcement de capacités en dehors des AMP. L'instrument juridiquement contraignant actuellement négocié par les Nations unies est donc l'occasion de donner les moyens aux organismes qui gèrent les différentes zones océaniques et les activités humaines qui s'y déroulent d'adopter et de mettre en œuvre des réglementations efficaces. Cela permettrait d'indiquer clairement où l'exploitation industrielle est autorisée et où elle ne l'est pas, tout en garantissant la gestion durable des sites ouverts à l'activité humaine.

CONCLUSIONS

1. La planification systématique de la conservation constitue un outil clé pour éclairer les décisions en vue de concevoir un réseau d'AMP en haute mer de manière économique, transparente et raisonnée.
2. L'adoption d'objectifs de couverture pour chacun des critères de conservation permet de garantir que les modèles de réseau d'AMP présenteront un niveau global de protection supérieur à celui des cibles établies.
3. Nos modèles de réseau d'AMP, qui se caractérisent par des objectifs de couverture élevés et une grande étendue spatiale, diffèrent des pratiques de désignation des AMP des régions côtières, qui constituent des îlots isolés au milieu de vastes zones consacrées à l'exploitation humaine. Nos modélisations proposent au contraire de larges filets de protection au sein desquels subsistent quelques zones destinées à l'activité humaine.
4. Le processus de modélisation tient compte des changements climatiques, de l'acidification des océans et de leurs effets via : (1) la constitution d'un « portefeuille » de protection pour minimiser les risques ; (2) l'adoption d'une couverture large qui préserve la connectivité, les sites d'étape, les corridors ; et (3) la sélection d'écosystèmes qui réagiront différemment aux changements à venir.
5. La planification systématique de la conservation permet la conception de réseaux optimisés limitant les impacts socioéconomiques. Ainsi, dans nos scénarios de protection à 30 % et 50 %, les réseaux que nous avons présentés ci-dessus ne déplacent respectivement que 22 % et 32 % de l'effort de pêche actuel grâce au coût appliqué aux unités de planification présentant un effort de pêche élevé. Cependant, tout réseau d'AMP nécessite une gestion durable des zones voisines afin d'atténuer les éventuels effets d'un déplacement et garantir que les activités ne soient pas transférées ou concentrées dans des sites plus vulnérables.
6. Les zones de protection existantes en haute mer pourront être complétées stratégiquement par de futures AMP afin d'atteindre les objectifs de conservation. Toutefois, de nombreuses licences ont été accordées à l'industrie minière dans des sites de haute importance pour la représentation des critères de conservation et présentant une grande valeur en termes de biodiversité ou de fonctions écosystémiques. Étant donné les impacts potentiels de l'exploitation minière en haute mer, les zones réservées à la prospection et à l'exploitation des gisements marins doivent être réévaluées de sorte à ne limiter aucune option en matière de protection.



Thon albacore, océan Pacifique
© Paul Hilton/Greenpeace

7. Les outils de planification systématique de la conservation ne peuvent qu'éclairer la conception d'un réseau d'AMP, puisque les facteurs non pris en compte dans les données saisies, tels que certaines considérations socioéconomiques ou les connaissances des experts, auront également une incidence sur les désignations.
8. Une approche de sélection mixte combinant sélection ascendante de sites, consultation des parties prenantes et planification systématique, permettra de concevoir un réseau d'AMP en haute mer à même d'atteindre les objectifs de conservation pour les critères assortis de données spatiales, de combler les lacunes relatives à ces dernières à l'aide d'informations recueillies auprès d'experts, et de proposer une solution bien accueillie sur le plan social et politique.
9. Un nouveau cadre institutionnel mondial est nécessaire pour procéder à la désignation, à la création et à la gestion d'AMP.
10. Adopter une approche mondiale plutôt que régionale pour la conception d'un réseau d'AMP en haute mer contribuerait à minimiser la surface totale nécessaire pour atteindre les objectifs de conservation fixés et ainsi l'impact socioéconomique du réseau en question.

Références

- 1 **Roberts C.M., Mason L. and Hawkins J.P. (2006).** Roadmap to Recovery: A global network of marine reserves. Greenpeace International. <https://www.greenpeace.fr/roadmap-to-recovery-a-global-network-of-marines-reserves/>
- 2 **Nature (2018).** How to save the high seas - As the United Nations prepares a historic treaty to protect the oceans, scientists highlight what's needed for success. By Olive Heffernan 9th May 2018. <https://www.nature.com/articles/d41586-018-05079-z>
- 3 **Pew (2016).** Mapping Governance Gaps on the High Seas. Issue Brief originally published 17th August 2016, updated 20th March 2017. <https://www.pewtrusts.org/en/research-and-analysis/issue-briefs/2016/08/mapping-governance-gaps-on-the-high-seas>
- 4 **O'Leary B.C., Brown, R.L., Johnson D.E., von Nordheim, H., Ardron, J., Packeiser, T. and Roberts, C.M. (2012).** "The first network of marine protected areas (MPAs) in the high seas: The process, the challenges and where next," *Marine Policy*, Elsevier, vol. 36(3), pages 598-605.
- 5 **Assemblée générale des Nations unies (2015).** Résolution adoptée par l'Assemblée générale le 19 juin 2015, 69/292, Élaboration d'un instrument international juridiquement contraignant se rapportant à la Convention des Nations Unies sur le droit de la mer et portant sur la conservation et l'utilisation durable ne relevant pas de la juridiction nationale. http://www.un.org/fr/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/69/292
- 6 **Wright G., Rochette J., Druel E. and Gjerde K. (2016).** The long and winding road continues: Towards a new agreement on high seas governance. IDDR1 No.1/16 March 2016 Oceans and Coastal Zones. https://www.iddri.org/sites/default/files/import/publications/st0116_gw-et-al_high-seas.pdf
- 7 **Druel, E. and Gjerde, K.M. (2013).** Sustaining marine life beyond boundaries: Options for an implementing agreement for marine biodiversity beyond national jurisdiction under the United Nations Convention on the Law of the Sea. *Marine policy* Volume 49, November 2014, Pages 90–97
- 8 **IUCN (2004).** Ten year high seas marine protected area strategy: a ten year strategy to promote the development of a global representative system of high seas marine protected area networks (Summary Version), as agreed by Marine Theme Participants at the Vth IUCN World Parks Congress, Durban, South Africa. IUCN, Gland, Switzerland
- 9 **CDB. OBJECTIF II -** Justificatif technique élargi (fourni dans le document COP/10/INF/12/Rev.1)
- 10 **Objectif de développement durable n°14.** <https://www.un.org/sustainabledevelopment/fr/oceans/>
- 11 **Wenzel L., Laffoley D., Caillaud, A. and Zuccarino-Crowe C. (2016).** Protecting the World's ocean - The Promise of Sydney. *Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst.* 26 (Suppl. 2): 251-255 (2016).
- 12 **IUCN (2016). WCC-2016-Res-050-FR.** Accroître l'étendue des aires marines protégées pour assurer l'efficacité de la conservation de la biodiversité. https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/resrecfiles/WCC_2016_RES_050_FR.pdf
- 13 **MPA News (2016).** IUCN Members Approve 30%-by-2030 Goal for MPAs - Most Ambitious Target So Far for MPA Coverage. 27th October 2016. <https://mpanews.openchannels.org/news/mpa-news/iucn-members-approve-30-2030-goal-mpas-%E2%80%944-most-ambitious-target-so-far-mpa-coverage>
- 14 **Wilson E.O. (2016).** Half-Earth: Our Planet's Fight for Life. Liveright Publishing Corporation. ISBN 9781631490828
- 15 **Nations unies (Ed.). (2017).** The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I. Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/9781108186148
- 16 **Wilson E.O. (2017).** Fifty-Fifty. Article originally published in the January/February 2017 edition of Sierra Club Magazine. <https://eowilsonfoundation.org/e-o-wilson-writes-article-for-sierra-club-magazine-on-why-we-need-the-half-earth-solution/>
- 17 **UNEP-WCMC et IUCN (2018).** Marine Protected Planet [On-line] Explore the World's Marine Protected Areas. <https://www.protectedplanet.net/marine>
- 18 **Malta Declaration (2017).** Presented to Our Ocean 6th October 2017. <https://www.nationalgeographic.org/projects/pristine-seas/malta-declaration/>
- 19 **Atlas of Marine Protection.** <http://www.mpatlas.org/> Accessed 11th February 2019.
- 20 **Smith D. and Jabour J. (2018).** MPAs in ABNJ: lessons from two high seas regimes. *ICES Journal of Marine Science*, Volume 75, Issue 1, 1 January 2018, Pages 417–425, <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsx189>
- 21 **MPAtlas**
South Orkney <http://www.mpatlas.org/mpa/sites/5283/>
Altair Seamount <http://www.mpatlas.org/mpa/sites/5496/>
Antialtair Seamount <http://www.mpatlas.org/mpa/sites/5495>
Charlie-Gibbs South <http://www.mpatlas.org/mpa/sites/67705500>
Josephine Seamount <http://www.mpatlas.org/mpa/sites/5497/>
Mid-Atlantic Ridge North of the Azores (MARNA) <http://www.mpatlas.org/mpa/sites/5499/>
Milne Seamount Complex <http://www.mpatlas.org/mpa/sites/5498/>
Charlie-Gibbs North <http://www.mpatlas.org/mpa/sites/68807608/>
Ross Sea <http://www.mpatlas.org/mpa/sites/9047/>
- 22 **CCAMLR.** La CCAMLR – Conservation de la vie marine en Antarctique. <https://www.ccamlr.org/fr/organisation/la-ccamlr>
- 23 **CCAMLR XXVIII (2009).** Report paragraph 7.19 "The Commission endorsed the milestones agreed by the Scientific Committee to guide its work towards the achievement of a representative system of MPAs within the Convention Area by 2012 (SC-CAMLR-XXVIII, paragraph 3.27)." CCAMLR XXVIII (2009). 7.19, p2
- 24 **British Antarctic Survey (2009).** South Orkneys Marine Protected Area. 20th November 2009. <https://www.bas.ac.uk/media-post/south-orkneys-marine-protected-area/>
- 25 **CCAMLR (2016).** La CCAMLR crée la plus vaste aire marine protégée du monde. Communiqué de presse. 28 octobre 2016. <https://www.ccamlr.org/fr/organisation/la-ccamlr-cr%C3%A9e-la-plus-vaste-aire-marine-prot%C3%A9g%C3%A9e-du-monde>
- 26 **ASOC (2018).** CCAMLR Fails to Protect Southern Ocean. Press Release 2nd November 2018. <https://www.asoc.org/explore/latest-news/1840-ccamlr-fails-to-protect-southern-ocean>
- 27 **IUCN.** Mediterranean Programme 2017-2020. https://www.iucn.org/sites/dev/files/content/documents/iucn_mediterranean_programme_2017-2020.pdf Accessed 19th November 2018.
- 28 **Mannino A.M., Balistreri P. and Deidun A. (2017).** The Marine Biodiversity of the Mediterranean Sea in a Changing Climate: The Impact of Biological Invasions, Mediterranean Identities, Borna Fuerst-Bjellis, IntechOpen, DOI: 10.5772/intechopen.69214. Available from: <https://www.intechopen.com/books/mediterranean-identities-environment-society-culture/the-marine-biodiversity-of-the-mediterranean-sea-in-a-changing-climate-the-impact-of-biological-inva>
- 29 **Coll M., Piroddi C., Steenbeek J., Kaschner K., Ben Rais Lasram, F., Aguzzi, J., et al. (2010).** The biodiversity of the Mediterranean Sea: estimates, patterns and threats. *PLoS ONE* 5:e11842. doi: 10.1371/journal.pone.0011842
- 30 **Sarà M. (1985).** Ecological factors and their biogeographic consequences in the Mediterranean ecosystem. In: Moraitous-Apostolopoulou M, Kiortsis V, editors. *Mediterranean Marine Ecosystems*. New York: Plenum Press. pp. 1–17.
- 31 **Bianchi C.N., and Morri C. (2000).** Marine biodiversity of the Mediterranean Sea: Situation, problems and prospects for future research. *Marine Pollution Bulletin* 40: 367–376.
- 32 **Karakulak F., Oray, I., Corriero A., Deflorio M., Santamaria N., Desanti S. and De Metrio, G. (2004).** Evidence of a spawning area for the bluefin tuna (*Thunnus thynnus* L.) in the Eastern Mediterranean. *Journal of Applied Ichthyology*. 20. 318-320. 10.1111/j.1439-0426.2004.00561.x.
- 33 **Oceana (2013).** Mediterranean deep-sea corals: reasons for protection under the Barcelona Convention. September 2013. http://oceana.org/sites/default/files/euo/OCEANA_Brief_Deep-sea_Corals.pdf
- 34 **Garibaldi L. and Caddy J.F. (1998).** Biogeographic characterization of Mediterranean and Black Seas faunal provinces using GIS procedures. *Ocean & Coastal Management*, 1998. 39:211-227 DOI: 10.1016/S0964-5691(98)00008-8.
- 35 **Ban N. C., Bax N.J., Gjerde K.M., Devillers R., Dunn D.C., Dunstan P.K., Hobday A.J., Maxwell S.M., Kaplan D.M., Pressey R.L., Ardron J.A., Game E.T. and Halpin P.N. (2014).** Systematic conservation planning: A better recipe for managing the high seas for biodiversity conservation and sustainable use. *Conservation Letters* 7(1):41-54.

- 36 **White C. and Costello C. (2014).** Close the high seas to fishing? *PLoS Biol* 12(3): e1001826. doi:10.1371/journal.pbio.1001826 <https://journals.plos.org/plosbiology/article/file?id=10.1371/journal.pbio.1001826&type=printable>
- 37 **Coll, M., Piroddi C., Albouy C., Ben Rais Lasram F., Cheung W.W.L., Christensen V., Karpouzi V.S., Guilhaumon F., Mouillot D., Paletzny M., Palomares M.L., Steenbeek J., Trujillo P., Watson R. and Pauly D. (2012).** The Mediterranean Sea under siege: spatial overlap between marine biodiversity, cumulative threats and marine reserves. *Global Ecology and Biogeography* 21, 465–480 (2012)
- 38 **EU Science Hub (2017).** Saving our heritage, our future: The worrying state of Mediterranean fish stocks. 3rd April 2017. <https://ec.europa.eu/jrc/en/news/saving-our-heritage-worrying-state-mediterranean-fish-stocks>
- 39 **Piroddi C., Coll M., Liqueste C., Macias D., Greer K., Buszowski J., Steenbeek J., Danovaro J. and Christensen V. (2017).** Historical changes of the Mediterranean Sea ecosystem: modelling the role and impact of primary productivity and fisheries changes over time. *Scientific Reports* volume 7, Article number: 44491 (2017) https://www.nature.com/articles/srep44491.epdf?author_access_token=ehT2hgUO6aKqIT32eajg_dRgNOjAjWel9jnR3ZoTvOMoD2X2fubsnPccl5h8WifHMoCnYg1--KEk1CQgUwetfoxbv52xpuAC4Xi4pepG56_EgGB8DMVlyPOjyS-qb3AT
- 40 **Katsanevakis S., Coll M., Piroddi C., Steenbeek G.J., Lasram F., Zenetos A. and Cardoso A. (2014).** Invading the Mediterranean Sea: Biodiversity patterns shaped by human activities. *Frontiers in Marine Science*. 10.3389/fmars.2014.00032.
- 41 **Greenpeace International (2006).** Marine Reserves for the Mediterranean Sea. <https://secured-static.greenpeace.org/france/PageFiles/266559/marine-reserves-med.pdf> Greenpeace International (2006). Réserves marines pour la mer Méditerranée. <https://www.greenpeace.fr/reserves-marines-mer-mediterranee/>
- 42 **Micheli F., Levin N., Giakoumi S., Katsanevakis S., Abdulla A., Coll M., Frascchetti S., Kark S., Koutsoubas D., Mackelworth P., Maiorano L. and Possingham H.P. (2013).** Setting priorities for regional conservation planning in the Mediterranean Sea. *PLoS One*. 2013;8(4): e59038. doi: 10.1371/journal.pone.0059038. Epub 2013 Apr 5. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3618442/>
- 43 **Partnership for Interdisciplinary Studies of Coastal Oceans and University of Nice Sophia Antipolis. (2016).** The Science of Marine Protected Areas (3rd edition, Mediterranean). www.piscoweb.org. 22 pages.
- 44 **Bastari A., Micheli F., Ferretti F., Pusceddu A. and Cerrano C. (2016).** Large marine protected areas (LMPAs) in the Mediterranean Sea: The opportunity of the Adriatic Sea. *Marine Policy* Volume 68, June 2016, Pages 165-177. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2016.03.010>
- 45 **MedPAN and UNEP-MAP - RAC/SP (2016).** The 2016 Status of Marine Protected Areas in the Mediterranean: Main Findings. http://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/medpan_forum_mpa_2016_brochure_a4_en_web_1.pdf
- 46 **IUCN (2015).** Le Sanctuaire Pelagos pour les mammifères marins mérite mieux. 24 mars 2015. <https://www.iucn.org/fr/content/le-sanctuaire-pelagos-pour-les-mammiferes-marins-merite-mieux>
- 47 **Laran S., Pettexa E., Authiera M., Blanckb A., David L., Dorémusa G., Falchettoa H., Monestiezd P., Van Canneyta O. and Ridoux V. (2017).** Seasonal distribution and abundance of cetaceans within French waters-Part I: The North-Western Mediterranean, including the Pelagos sanctuary. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* Volume 141, July 2017, Pages 20-30 <http://dx.doi.org/10.1016/j.dsr2.2016.12.011>
- 48 **IISD SDG knowledge hub (2017).** The Mediterranean Marine Protected Areas Network: A Successful Model in Action. Marie Romani, MedPAN Executive Secretary. 4th May 2017. <http://sdg.iisd.org/commentary/guest-articles/the-mediterranean-marine-protected-areas-network-a-successful-model-in-action/>
- 49 **Greenpeace International (2009).** Mediterranean Marine Governance. <https://secured-static.greenpeace.org/international/Global/international/planet-2/report/2009/10/mediterranean-marine-governanc.pdf>
- 50 **CAR/ASP. SPAMI.** <http://www.rac-spa.org/spami>
- 51 **Convention on Biological Diversity.** Background on the EBSA Process. <https://www.cbd.int/ebsa/about> Accessed 1st September 2018.
- 52 **CBD.** COP 9. Décision IX/20. Diversité biologique marine et côtière. <https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-09/cop-09-dec-20-fr.pdf>
- 53 **GOBI.** EBSA. <http://gobi.org/ebsas/>
- 54 **Convention on Biological Diversity.** Ecologically or Biologically Significant Marine Areas – Special places in the world's oceans <https://www.cbd.int/ebsa/>
- 55 **Lascelles B.G., Taylor P.R., Miller M.G.R., Dias M.P., Opper S., Torres L., Hedd A., Le Corre M., Phillips R.A., Shaffer S.A., Weimerskirch H. and Small C. (2016).** Applying global criteria to tracking data to define important areas for marine conservation. *Diversity and Distributions*, (Diversity Distrib.) (2016) 22, 422–431 <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/ddi.12411>
- 56 **Birdlife International.** Using IBAs in planning the protection of the oceans. <http://datazone.birdlife.org/using-ibas-in-planning-the-protection-of-the-oceans>
- 57 **Corrigan C.M., Ardron J.A., Comerros-Raynal M.T., Hoyt E., Nortarbartolo di Sciara G. and Carpenter K.E. (2014).** Developing important marine mammal area criteria: learning from ecologically or biologically significant areas and key biodiversity areas. - *Aquatic Conservation: marine and freshwater ecosystems*, 24, S2, p. 166-183. DOI: <http://doi.org/10.1002/aqc.2513>
- 58 **UNEP (2006).** Ecosystems and Biodiversity in Deep Waters and High Seas. UNEP Regional Seas Reports and Studies No. 178. UNEP/ IUCN, Switzerland 2006. ISBN: 92-807-2734-6 Job Number: DEP/0850/ CA <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/13602/rsrs178.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- 59 **Woodall L., Stewart C. and Rogers A. (2017).** Function of the High Seas and Anthropogenic Impacts Science Update 2012-2017. Report for the High Seas Alliance. <http://highseasalliance.org/sites/highseasalliance.org/files/HS%20Synthesis%20Oxford%20%28110717%29.pdf>
- 60 **Costello M.J. and Chaudhary C. (2017).** Marine Biodiversity, Biogeography, Deep-Sea Gradients, and Conservation. *Current Biology*, Volume 27, Issue 13, 10 July 2017, Pages 2051 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960982217305055>
- 61 **Census of Marine Life.** About the Census – a decade of discovery. <http://www.coml.org/about-census/> Accessed 1st August 2018.
- 62 **Argo.** <http://www.argo.ucsd.edu/> Accessed 1st August 2018.
- 63 **NOAA.** Exploration tools. <https://oceanexplorer.noaa.gov/technology/technology.html> accessed 15th August 2018.
- 64 **MEAM (2017).** How genetics can improve marine conservation and management: What practitioners should know (and do). Posted by Ed. Sarah Carr. 5th December 2017. <https://meam.openchannels.org/news/meam/how-genetics-can-improve-marine-conservation-and-management-what-practitioners-should-know>
- 65 **Global Fishing Watch.** <http://globalfishingwatch.org/>
- 66 **Pew (2015).** Projet Eyes on the Seas. 16 mars 2015. <https://www.pewtrusts.org/fr/research-and-analysis/issue-briefs/2015/03/project-eyes-on-the-seas>
- 67 **Spalding M.D., Agostini V.N., Rice J. and Grant S.M. (2012).** Pelagic provinces of the world: A biogeographic classification of the world's surface pelagic waters. *Ocean & Coastal Management* Volume 60, May 2012, Pages 19-30. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964569111002201>
- 68 **NASA Earth Observatory. (2010).** What are Phytoplankton? By Rebecca Lindsey and Michon Scott 13th July 2010. <https://earthobservatory.nasa.gov/Features/Phytoplankton>
- 69 **Guzmán H.M., Gomez C., Hearn, A. and Eckert S.A. (2018).** Longest recorded trans-Pacific migration of a whale shark (*Rhincodon typus*). *Marine Biodiversity Records*, 11:8, <https://doi.org/10.1186/s41200-018-0143-4>
- 70 **TOPP – Tagging of Pelagic Predators.** About GTOPP. www.topp.org Accessed 1st August 2018
- 71 **Nereus Program.** Understanding how marine species use the high seas: The Migratory Connectivity in the Ocean (MiCO) system. <http://nereusprogram.org/works/understanding-how-marinespecies-use-the-high-seas-the-migratory-connectivity-in-theocean-mico-system/>
- 72 **Ingels J., Clark M., Vecchione M., Perez J.A.A., Levin L.A., Priede I.G., Sutton T., Rowden A., Smith C.R., Yasuhara M., Sweetman A.K., Soltwedel T., Santos R.S., Narayanaswamy B., Ruhl H.A., Fujikura K., Amaral-Zettler L., Jones D., Gates A., Snelgrove P.V.R., Bernal P. and van Gaever S. (2016).** Open Ocean Deep Sea Ch.36F First Global Marine Assessment. http://www.un.org/depts/los/global_reporting/WOA_RPROC/Chapter_36F.pdf

- 73 **Sutton T. T., Clark M. R., Dunn D. C., Halpin, P. N., Rogers A. D., Guinotte J., Bograd S. J., Angel, M. V., Perez J. A. A., Wishner K., Haedrich R. L., Lindsay D. J., Drazen J. C., Vereshchaka A., Piatkowski U., Morato T., Blachowiak-Samolyk K., Robison B. H., Gjerde K. M., Pierrot-Bult, A., Bernal P., Reygondeau G. and Heino, M. (2017).** A global biogeographic classification of the mesopelagic zone. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 126. 85-102. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2017.05.006>
- 74 **Zinger L., Amaral-Zettler L.A., Fuhrman J.A., Horner-Devine M.C., Huse S.M., Welch D.B.M., Martiny J.B.H., Sogin M., Boetius A., and Ramette A. (2011).** Global patterns of bacterial beta-diversity in seafloor and seawater ecosystems. *PLoS ONE* 6(9): e24570. <http://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0024570&type=printable>
- 75 **Scientific America (2013).** Unusual Offshore Octopods: The 'Dumbo' Octopus Swims with Fins. By Katherine Harmon on 26th April 2013. <https://blogs.scientificamerican.com/octopus-chronicles/unusual-offshore-octopods-the-dumbo-octopus-swims-with-fins-video/>
- 76 **The Smithsonian.** The Vampire Squid from Hell. <https://ocean.si.edu/ocean-life/invertebrates/vampire-squid-hell> Accessed 7th August 2018.
- 77 **Lam V.W.Y. and Pauly D. (2005).** Mapping the global biomass of mesopelagic fishes. Page 4 *Sea Around Us – July/August 2005*. http://legacy.seaaroundus.s3.amazonaws.com/doc/PageContent/Mesopelagic/Lam_Pauly__2005_Mapping_global_mesopelagic_biomass.pdf
- 78 **Irigoien X., Klever T.A., Røstad A., Martinez U., Boyra G., Acuña J.L., Bode A., Echevarria F., Gonzalez-Gordillo J.L., Hernandez-Leon S., Agusti S., Aksnes D.L., Duarte C.M. and Kaartvedt S. (2014).** Large mesopelagic fishes biomass and trophic efficiency in the open ocean. *Nature Communications* volume 5, Article number: 3271 (2014). <https://www.nature.com/articles/ncomms4271>
- 79 **Economist (2017).** The mesopelagic: Cinderella of the oceans. 15th April 2017. <https://www.economist.com/science-and-technology/2017/04/15/the-mesopelagic-cinderella-of-the-oceans>
- 80 **Institute for Marine Research (2017).** Mesopelagic Initiative: Unleashing new marine resources for a growing human population. https://www.hi.no/filarkiv/2017/rad-bestander_og_ressurser_mesopelagic_initiative_unleashing_new_marine_resources_for_a_growing_human_population.pdf/nb-no
- 81 **Prellezo R. (2018).** Exploring the economic viability of a mesopelagic fishery in the Bay of Biscay. *ICES Journal of Marine Science*, fsy001, <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsy001>. Published 24th January 2018. <https://academic.oup.com/icesjms/advance-article-abstract/doi/10.1093/icesjms/fsy001/4823616?redirectedFrom=fulltext>
- 82 **Sanders R., Henson S.A., Koski M., De La Rocha C.L., Painter S.C., Poulton A.J., Riley J., Salihoglu B., Visser A., Yool A., Bellerby R. and Martin A.P. (2014).** The Biological Carbon Pump in the North Atlantic. May 2014, *Progress In Oceanography* 129 DOI: 10.1016/j.pocean.2014.05.005
- 83 **Phys.org (2014).** Ninety-five per cent of world's fish hide in mesopelagic zone. 3rd March, 2014 by Geoff Vivian, Science Network WA. <https://phys.org/news/2014-03-ninety-five-cent-world-fish-mesopelagic.html>
- 84 **Robison B.H. (2004).** Deep pelagic biology. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 300 (2004) 253–272. <http://www.soest.hawaii.edu/oceanography/zij/ocn621/reading-drazen3.pdf>
- 85 **Winkelmann I., Campos P.F., Strugnell J., Cherel Y., Smith P.J., Kubodera T., Allcock L., Kampmann M.L., Schroeder H., Guerra A., Norman M., Finn J., Ingrao D., Clarke M. and Gilbert M.T. (2013).** Mitochondrial genome diversity and population structure of the giant squid *Architeuthis*: genetics sheds new light on one of the most enigmatic marine species. *R Soc B* 280: 20130273. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2013.0273> <https://core.ac.uk/download/pdf/36109253.pdf>
- 86 **Evans K. and Hindell M.A. (2004).** The diet of sperm whales (*Physeter macrocephalus*) in southern Australian waters. *CES Journal of Marine Science*, Volume 61, Issue 8, 1 January 2004, Pages 1313–1329. <https://academic.oup.com/icesjms/article/61/8/1313/630486>
- 87 **Rodhouse P.G. and Nigmatullin C.M. (1996).** Role as consumers. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B* 351 (1343), 1003-1022.
- 88 **Stephens T. (2012).** Elephant seal tracking reveals hidden lives of deep-diving animals. 15th May 2012. UC Santa Cruz Newsletter. <https://news.ucsc.edu/2012/05/elephant-seals.html>
- 89 **Schorr G.S., Falcone E.A., Moretti D.J. and Andrews R.D. (2014).** First Long-Term Behavioral Records from Cuvier's Beaked Whales (*Ziphius cavirostris*) Reveal Record-Breaking Dives. *PLoS ONE* 9(3): e92633. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0092633> <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0092633>
- 90 **Warrant E. and Locket N.A. (2004).** Vision in the deep sea. *Biological Reviews* 9(3):671-712 · September UC Santa Cruz New!2004. https://www.researchgate.net/publication/8347507_Vision_in_the_deep_sea
- 91 **Martini S. and Haddock S.H.D. (2017).** Quantification of bioluminescence from the surface to the deep sea demonstrates its predominance as an ecological trait. *Scientific Reports* volume 7, Article number: 45750 (2017) <https://www.nature.com/articles/srep45750>
- 92 **Oceana.** Humpback Anglerfish *Melanocetus johnsonii* <https://oceana.org/marine-life/ocean-fishes/humpback-anglerfish> Accessed 9th August 2018.
- 93 **Arnold R. (2015).** *Melanocetus johnsonii*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015: e.T18127840A21911455. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2015-4.RLTS.T18127840A21911455.en>. Downloaded on 9th August 2018.
- 94 **Osborn K.J., Haddock S.H.D., Pleijel F., Madin L.P. and Rouse G.W. (2009).** Deep-sea, swimming worms with luminescent "bombs". *Science (Wash.)* 325(5943): 964 https://www.researchgate.net/publication/26756801_Deep-Sea_Swimming_Worms_with_Luminescent_Bombs
- 95 **Davis M.P., Sparks J.S. and Smith W.L. (2016).** Repeated and Widespread Evolution of Bioluminescence in Marine Fishes. *PLoS One* 8th June 2016 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0155154> <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0155154>
- 96 **Bird C. (2014).** Glow in the Dark Sharks. 28th October 2014 Exploring Our Oceans, Southampton University. <http://moocs.southampton.ac.uk/oceans/2014/10/28/glow-in-the-dark-sharks/>
- 97 **Newcastle University (2017).** **Deepest fish in the ocean. Press Release** published on: 29th November 2017. <https://www.ncl.ac.uk/press/articles/archive/2017/11/deepestfish/>
- 98 **Gerringer M.E., Linley T.D., Jamieson A.J., Goetze E. and Drazen J.C. (2017).** *Pseudoliparis swirei* sp. nov.: A newly-discovered hadal snailfish (Scorpaeniformes: Liparidae) from the Mariana Trench. *Zootaxa* 2017, 4358 (1), 161-177. https://eprint.ncl.ac.uk/file_store/production/243314/46EF1525-3E99-4C9E-BE03-2B80EF211505.pdf
- 99 **Rogers A.** *Deep-Sea Biodiversity: A Quick Guide*.
- 100 **Harris P., Macmillan-Lawler M., Rupp J. and Baker, E. (2014).** Geomorphology of the oceans. *Mar. Geol.* 352, 4–24. doi: 10.1016/j.margeo.2014.01.011 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025322714000310>
- 101 **Fernandez-Arcaya U., Ramirez-Llodra E., Aguzzi J., Allcock A. L., Davies J.S., Dissanayake A., Harris P., Howell K., Huvenne V. A.I., Macmillan-Lawler M., Martin J., Menot L., Nizinski M., Puig P., Rowden A.A., Sanchez F. and Van den Beld I.M. J. (2017).** Ecological role of submarine canyons and need for canyon conservation: review. *Frontiers in Marine Science*, 4. 00005. <https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00005> <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2017.00005/full#B64>
- 102 **UNEP (2006).** *Ecosystems and Biodiversity in Deep Waters and High Seas*. UNEP Regional Seas Reports and Studies No. 178. UNEP/ IUCN, Switzerland 2006. ISBN: 92-807-2734-6 Job Number: DEP/0850/CA <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/13602/rsr178.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- 103 **Moors-Murphy H.B. (2014).** Submarine canyons as important habitat for cetaceans, with special reference to the Gully: A review. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* Volume 104, June 2014, Pages 6-19 https://www.researchgate.net/publication/259519622_Submarine_canyons_as_important_habitat_for_cetaceans_with_special_reference_to_the_Gully_A_review
- 104 **Carvahlo F.P., Oliveira J.M. and Soares A.M.M. (2011).** Sediment accumulation and bioturbation rates in the deep Northeast Atlantic determined by radiometric techniques. *ICES Journal of Marine Science* (2011), 68(3), 427 – 435. doi:10.1093/icesjms/fsr005
- 105 **UNEP (2007).** *Deep-Sea Biodiversity and Ecosystems: A scoping report on their socio-economy, management and governance*. <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/11824/rsr184.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- 106 **Durden J.M., Bett B.J. and Ruhl H.A. (2015).** The hemisessile lifestyle and feeding strategies of *Iosactis vagabunda* (Actiniaria, Iosactiidae), a dominant megafaunal species of the Porcupine Abyssal Plain.

- Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers Volume 102, August 2015, Pages 72-77 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0967063715000849?via%3Dihub>
- 107 **Ramirez Llodra E. and Billett D.S.M. (2006).** Deep-sea ecosystems: pristine biodiversity reservoir and technological challenges. In: Duarte, C.M., (ed.) *The Exploration of marine biodiversity: scientific and technological challenges*. Bilbao, Spain, Fundacion BBVA, 63-92, 154pp.
- 108 **Smith, K. L., Ruhl H.A., Kahru M., Huffard C.L., and Sherman A.D. (2013).** Deep ocean communities impacted by changing climate over 24 y in the abyssal northeast Pacific Ocean. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1315447110*. <http://www.pnas.org/content/110/49/19838>
- 109 **Durden J. M., Bett B. J., Jones D.O.B., Huvenne V.A.I. and Ruhl H.A. (2015).** Abyssal hills - hidden source of increased habitat heterogeneity, benthic megafaunal biomass and diversity in the deep sea. *Progress in Oceanography*, 137 (A), 209-218. (doi:10.1016/j.pcean.2015.06.006 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079661115001391?via%3Dihub>
- 110 **New Scientist (2015).** Secret ecosystem found on hills deep beneath the ocean's surface. By Bob Holmes 5th August 2015. <https://www.newscientist.com/article/mg22730335-500-secret-ecosystem-found-on-hills-deep-beneath-the-oceans-surface>
- 111 **Sumida P. Y. G., Alfaro-Lucas J. M., Shimabukuro M., Kitazato H., Perez J. A. A., Soares-Gomes A., Takashi Toyofuku T., Lima A.O.S., Ara K. and Fujiwara, Y. (2016).** Deep-sea whale fall fauna from the Atlantic resembles that of the Pacific Ocean. *Scientific Reports*, 6, 22139. <http://doi.org/10.1038/srep22139>
- 112 **NOAA.** The Mid-Ocean Ridge system. <https://oceanexplorer.noaa.gov/facts/mid-ocean-ridge.html> Accessed 15th August 2018.
- 113 **Yesson C., Clark M.R., Taylor M. and Rogers A.D. (2011).** The global distribution of seamounts based on 30-second bathymetry data. *Deep Sea Res.* 1 58, 442-453.
- 114 **Rogers A.D. (2018).** The Biology of Seamounts 25 Years On. *Adv Mar Biol.* 2018;79:137-224. doi: 10.1016/bs.amb.2018.06.001. Epub 6th July 2018.
- 115 **Pante E., France S., Gey D., Cruaud C. and Samadi S. (2015).** An inter-ocean comparison of coral endemism on seamounts: the case of Chrysogorgia. *Journal of Biogeography*, Wiley, 2015, 42 (10), pp.1907-1918 <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01242420/document>
- 116 **Castelin M., Lambourdiere J., Boisselier M., Lozouet P., Couloux A., Cruaud C. and Samadi S. (2010).** Hidden diversity and endemism on seamounts: focus on poorly dispersive neogastropods, *Biological Journal of the Linnean Society*, Volume 100, Issue 2, 1st June 2010, Pages 420-438, <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.2010.01424.x>
- 117 **Clark M. and Koslow T. (2007).** Seamount Biodiversity and Ecology. Presentation to PEW Workshop Hawaii, October 2007. http://www.soest.hawaii.edu/oceanography/faculty/csmith/MPA_webpage/documents/Seamounts%20biodiversity_Clark.pdf
- 118 **Victorero L., Robert K., Robinson L.F., Taylor M.L. and Veerle A.I.H. (2018).** Species replacement dominates megabenthos beta diversity in a remote seamount setting, *Scientific Reports* (2018). DOI: 10.1038/s41598-018-22296-8 <https://www.nature.com/articles/s41598-018-22296-8#Sec10> Read more at: <https://phys.org/news/2018-03-insights-biodiversity-hotspots-potential-deep-sea.html#jCp>
- 119 **Rogers A.D. (2018).** The Biology of Seamounts 25 Years On. *Adv Mar Biol.* 2018;79:137-224. doi: 10.1016/bs.amb.2018.06.001. Epub 6th July 2018.
- 120 **Cascão I., Domokos R., Lammers M.O., Marques V., Domínguez R., Santos R. S. and Silva M.A. (2017).** Persistent Enhancement of Micronekton Backscatter at the Summits of Seamounts in the Azores. *Front. Mar. Sci.*, 7th February 2017 <https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00025> <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2017.00025/full>
- 121 **Morato T., Hoyle S.D., Allain V. and Nicol S.J. (2010).** Seamounts are hotspots of pelagic biodiversity in the open ocean. *Proceedings of the National Academy of Sciences* May 2010, 107 (21) 9707-9711; DOI: 10.1073/pnas.0910290107 <http://www.pnas.org/content/107/21/9707>
- 122 **Garrigue C., Clapham P.J., Geyer Y., Kennedy A.S. and Zerbeni A.N. (2015).** Satellite tracking reveals novel migratory patterns and the importance of seamounts for endangered South Pacific humpback whales. *Royal Society Open Science*. Published 25th November 2015. DOI: 10.1098/rsos.150489 <http://rsos.royalsocietypublishing.org/content/2/11/150489>
- 123 **Rogers A.D. (2015).** Environmental Change in the Deep Ocean. *Annual Review of Environment and Resources*. Vol. 40:1-38 (Volume publication date November 2015). <https://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev-environ-102014-021415>
- 124 **WHOI.** 1977 - Astounding Discoveries. <https://www.whoi.edu/feature/history-hydrothermal-vents/discovery/1977.html> Accessed 20th August 2018.
- 125 **Copley J. (2014).** Mining at Deep-Sea Vents: What are the impacts on marine life? University of Southampton. Exploring Our Oceans 9th March 2014. <http://moocs.southampton.ac.uk/oceans/2014/03/09/mining-at-deep-sea-vents-what-are-the-impacts-on-marine-life/>
- 126 **Ramirez-Llodra E., Shank T.M. and German C.R. (2007).** Biodiversity and Biogeography of Hydrothermal Vent Species - Thirty Years of Discovery and Investigations. *Oceanography*, Volume 20, Number 1. https://tos.org/oceanography/assets/docs/20-1_ramirez_llodra.pdf
- 127 **Sancho G., Fisher C.R., Mills S., Michelid F., Johnson G.A., Lenihan H.S., Petersone C.H. and Mullineau L.S. (2005).** Selective predation by the zoarcid fish *Thermarces cerberus* at hydrothermal vents. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* Volume 52, Issue 5, May 2005, Pages 837-844. DOI: 10.1016/j.dsr.2004.12.002
- 128 **Ramirez-Llodra E., Shank T.M. and German C.R. (2007).** Biodiversity and Biogeography of Hydrothermal Vent Species - Thirty Years of Discovery and Investigations. *Oceanography*, Volume 20, Number 1. https://tos.org/oceanography/assets/docs/20-1_ramirez_llodra.pdf
- 129 **Rogers A.D., Tyler P.A., Connelly D.P., Copley J.T., James R., Larter R.D., et al. (2012).** The Discovery of New Deep-Sea Hydrothermal Vent Communities in the Southern Ocean and Implications for Biogeography. *PLoS Biol* 10(1): e1001234. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001234> <http://journals.plos.org/plosbiology/article?id=10.1371/journal.pbio.1001234>
- 130 **Évaluation des écosystèmes pour le Millénaire.** <http://millenniumassessment.org/fr/About.html>
- 131 **N., Hanley N., Hynes S., Kenter J. and Witte U. (2014).** Twenty thousand sterling under the sea: Estimating the value of protecting deep-sea biodiversity. *Ecol. Econ.* 97, 10-19. doi:10.1016/j.ecolecon.2013.10.019
- 132 **Rogers A.D., Sumaila U.R., Hussain S.S. and Baulcomb C. (2014).** The High Seas and Us: Understanding the Value of High-Seas Ecosystems. *Global Ocean Commission* http://www.oceanunite.org/wp-content/uploads/2016/03/High-Seas-and-Us.FINAL_FINAL_high_spreads.pdf
- 133 **Guardian (2012).** We must put a price on nature if we are going to save it. By Tony Juniper. 10th August 2012. <https://www.theguardian.com/environment/2012/aug/10/nature-economic-value-campaign>
- 134 **TEEB (2012).** Why value the oceans? A discussion paper. February 2012. https://gridarendal-website-live.s3.amazonaws.com/production/documents/s_document/156/original/Why-Value-the-Oceans-updated.pdf?1484138247
- 135 **GRID Arendal (2009).** Benefits of marine and coastal ecosystems to human wellbeing.
- 136 **Hoegh-Guldberg, O. et al. (2015).** Reviving the Ocean Economy: the case for action - 2015. WWF International, Gland, Switzerland. 60 pp. https://c402277.ssl.cf1.rackcdn.com/publications/790/files/original/Reviving_Ocean_Economy_REPORT_low_res.pdf?1429717323
- 137 **de Groot, R., Brander L., van der Ploeg S., Costanza, R., Bernard F., Braat L., Christie M., Crossman N., Ghermandi A., Hein L., Hussain S., Kumar P., McVittie A., Portela R., Rodriguez L. C., ten Brink P. and van Beukering P. (2012).** Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. *Ecosystem Services*. Volume 1, Issue 1, July 2012, Pages 50-61 <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.07.005> <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212041612000101#bib56>
- 138 **Rogers A.D., Sumaila U.R., Hussain S.S. and Baulcomb C. (2014).** The High Seas and Us: Understanding the Value of High-Seas Ecosystems. *Global Ocean Commission* http://www.oceanunite.org/wp-content/uploads/2016/03/High-Seas-and-Us.FINAL_FINAL_high_spreads.pdf
- 139 **Honjo, S. et al. (2014).** Understanding the role of the biological pump in the global carbon cycle: An imperative for ocean science. *Oceanography* 27(3):10-16, <http://dx.doi.org/10.5670/oceanog.2014.78>
- 140 **Le Quéré C. et al. (2014).** Global carbon budget 2014. *Earth Syst. Sci. Data Discuss.*, 6, 1-90 http://www.globalcarbonproject.org/global/pdf/LeQuere_2014_GlobalCarbonBudget2014.ESDD-D.pdf

- 141 **Sabine, C., et al. (2004).** The Oceanic Sink for Anthropogenic CO₂. *Science* 305, 367–371
- 142 **Feely R. A., Sabine C. L., Takahasi T. and Wanninkhof R. (2001).** Uptake and storage of carbon dioxide in the ocean: The global CO₂ survey. *Oceanography* 14, 18–32
- 143 **Nath B. N., Khadge N. H. and Nabar, S. (2012).** Monitoring the sedimentary carbon in an artificially disturbed deep-sea sedimentary environment. *Environ. Monit. Assess.* 184: 2829. doi:10.1007/s10661-011-2154-z
- 144 **Roberts D., Hopcroft R.R., Dupont S. (2014).** Open ocean calcifiers: Pteropods, foraminifera and coccolithophores. In: Laffoley D, Baxter J, Thevenon F, Oliver J (editors). *The significance and Management of Natural Carbon Stores in the Open Ocean*. Full report. Gland, Switzerland: IUCN. Pp 33-41 (2014).
- 145 **Wilson R.W., Millero F.J., Taylor J.R., Walsh P.J., Christensen V., Jennings S. and Grosell M. (2009).** Contribution of fish to the marine inorganic carbon cycle. *Science*. 16th Jan;323(5912):359-62. doi: 10.1126/science.1157972
- 146 **Wilson R. (2014).** In: Laffoley D., Baxter J., Thevenon F. and Oliver J (editors) (2014). *The significance and Management of Natural Carbon Stores in the Open Ocean*. Full report. Gland, Switzerland: IUCN. pp 79-91
- 147 **Anderson, T. R. and Tang, K. W. (2010).** Carbon cycling and POC turnover in the mesopelagic zone of the ocean: Insights from a simple model. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 57 (16), 1581-1592. (doi:10.1016/j.dsr2.2010.02.024).
- 148 **Tarling G.A. and Johnson M.L. (2006).** Satiation gives krill that sinking feeling. *Current Biology* 16(3) R83-R84.
- 149 **Swadling K.M. (2006).** Krill Migration: Up and Down All Night. *Current Science* 16 (5): R173-R175
- 150 **Belcher A., Tarling G.A., Manno, C. et al. (2017).** The potential role of Antarctic krill faecal pellets in efficient carbon export at the marginal ice zone of the South Orkney Islands in spring. *Polar Biol* (2017). <https://doi.org/10.1007/s00300-017-2118-z> <https://link.springer.com/article/10.1007/s00300-017-2118-z>
- 151 **Martin A. (2017).** Fish poo and the climate challenge. *Marine Biological Association*. 31st March 2017. <https://www.mba.ac.uk/fish-poo-and-climate-challenge>
- 152 **Pershing A.J., Christensen L.B., Record N.R., Sherwood G.D. and Stetson P.B. (2010).** The Impact of Whaling on the Ocean Carbon Cycle: Why Bigger Was Better. *PLoS ONE* 5(8): e12444. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0012444> <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0012444>
- 153 **Kerr R.A. (2006).** Creatures Great and Small are Stirring the Ocean. *Science* 22nd September 2006: Vol. 313, Issue 5794, pp. 1717a DOI: 10.1126/science.313.5794.1717a <http://science.sciencemag.org/content/313/5794/1717a>
- 154 **J., Estes J. A., Morissette L., Smith C., Costa D., McCarthy J., Nation J., Nicol S., Pershing A. and Smetacek, V. (2014).** Whales as marine ecosystem engineers. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 12: 377-385. doi:10.1890/130220 <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/action/showCitFormats?doi=10.1890%2F130220>
- 155 **Atwood T., Connolly R., Ritchie E., Lovelock C., Meithaus M., Hays G., Fourqurean J. and Macreadie, P. (2015).** Predators help protect carbon stocks in blue carbon systems. *Nat. Clim. Change* 5, 1038–1045
- 156 **O’Leary B.C. and Roberts C.M. (2017).** The Structuring Role of Marine Life in Open Ocean Habitat: Importance to International Policy. *Frontiers in Marine Science*. 5th September 2017. <https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00268> <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2017.00268/full>
- 157 **McKinley G., Fay A., Lovenduski N. and Pilcher, D. (2017).** Natural variability and anthropogenic trends in the ocean carbon sink. *Annu. Rev. Mar. Sci.*, 125–50 (2017). https://instaar.colorado.edu/uploads/publications/ARMS_proofs.pdf
- 158 **Halpern B.S., Walbridge S., Selkoe K.A., Kappel C.V., Micheli F., D’Agrosa C., Bruno J.F., Casey K.S., Ebert C., Fox H.E., Fujita R., Heinemann D., Lenihan H.S., Madin E.M.P., Perry M.T., Selig E.R., Spalding M., Steneck R. and Watson R. (2008).** A Global Map of Human Impact on Marine Ecosystems. *Science* 15th February 2008: Vol. 319, Issue 5865, pp. 948-952 DOI: 10.1126/science.1149345
- 159 **Garcia S.M and Rosenberg A. A. (2010).** Food security and marine capture fisheries: characteristics, trends, drivers and future perspectives. *Philosophical Transactions of the Royal Society* B. Published 16th August 2010. Crossref DOI link: <https://doi.org/10.1098/RSTB.2010.0171>. <http://rstb.royalsocietypublishing.org/content/365/1554/2869.short>
- 160 **Schiller L., Bailey M., Jacquet J. and Sala E. (2018).** High seas fisheries play a negligible role in addressing global food security. *Science Advances* 08 Aug 2018: Vol. 4, no. 8, eaat8351 DOI: 10.1126/sciadv.aat8351
- 161 **Sumaila U. R., Lam V. W. Y., Miller D. D., Teh L., Watson R. A., Zeller D., Cheung W.W.L., Côté I.M., Rogers A.D., Roberts C.M., Sala E. and Pauly, D. (2015).** Winners and losers in a world where the high seas is closed to fishing. *Scientific Reports*, 5, 8481. <http://doi.org/10.1038/srep08481> <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3589130/>
- 162 **McCauley D.J., Jablonicky C., Allison E.H., Golden C.D., Joyce F.H., Mayorga J. and Kroodsma D. (2018).** Wealthy countries dominate industrial fishing. *Science Advances* 1st August 2018: Vol. 4, no. 8, eaau2161 DOI: 10.1126/sciadv.aau2161 <http://advances.sciencemag.org/content/4/8/eaau2161>
- 163 **Secrétaire général des Nations unies (2012).** Message publié à l’occasion de la Journée internationale de la diversité biologique. 22 mai 2012. <http://www.cbd.int/ldb/doc/2012/messages/ldb-2012-unsq-message-fr.pdf>
- 164 **FAO (2018).** La situation mondiale des pêches et de l’aquaculture 2018 – Atteindre les objectifs de développement durable. <http://www.fao.org/3/i9540FR/i9540fr.pdf>
- 165 **FAO (2016).** La situation mondiale des pêches et de l’aquaculture 2016 – Contribuer à la sécurité alimentaire et à la nutrition de tous. <http://www.fao.org/3/a-i5555f.pdf>
- 166 **Pauly D. and Zeller, D. (2016).** Catch reconstructions reveal that global marine fisheries catches are higher than reported and declining. *Nature Communications* volume 7, Article number: 10244 (2016). Published 19th January 2016. <https://www.nature.com/articles/ncomms10244>
- 167 **Pauly D. and Zeller D. (2017).** Comments on FAOs State of World Fisheries and Aquaculture (SOFIA 2016). *Marine Policy* Volume 77, March 2017, Pages 176-181 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308597X16305516>
- 168 **FAO (2018).** La situation mondiale des pêches et de l’aquaculture 2018 – Atteindre les objectifs de développement durable. <http://www.fao.org/3/i9540FR/i9540fr.pdf>
- 169 **Cashion T., Le Manach F., Zeller D. and Pauly D. (2017).** Most fish destined for fishmeal production are food-grade fish. *Fish and Fisheries* 2017; 1–8. DOI: 10.1111/faf.12209
- 170 **Allsopp M., Page R., Johnston P. and Santillo D. (2009).** *State of the World’s Oceans*. Springer ISBN: 978-1-4020-9115-5
- 171 **Greenpeace Southeast Asia. (2016).** Turn the Tide: Human Rights Abuses and Illegal Fishing in Thailand’s Overseas Fishing Industry. <http://www.greenpeace.org/seasia/PageFiles/745330/Turn-The-Tide.pdf>
- 172 **Bell J.D., Watson R.A. and Ye Y. (2017).** Global fishing capacity and fishing effort from 1950-2012. *Fish and Fisheries* 18, 489-505 2017. DOI: 10.1111/faf.12187
- 173 **Swartz, W., Sala, E., Tracey, S., Watson, R. and Pauly, D. (2010).** The spatial expansion and ecological footprint of fisheries (1950 to present). *PLoS ONE* 5, e15143 2010. <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0015143>
- 174 **Kroodsma D.A., Mayorga J., Hochberg T., Miller N.A., Boerder K., Ferretti F., Wilson A., Bergman B., White T.D., Block B.A., Woods P., Sullivan B., Costello C., and Worm B. (2018).** Tracking the global footprint of fisheries. *Science*, 2018; 359 (6378): 904 DOI: 10.1126/science.aao5646 https://www.researchgate.net/publication/323126788_Tracking_the_Global_Footprint_of_Fisheries
- 175 **Dalhousie University (2018).** Researchers from Dalhousie University help track fishing from space for the first time ever. Media release 22nd February 2018. https://www.dal.ca/news/media/media-releases/2018/02/22/researchers_from_dalhousie_university_help_track_fishing_from_space_for_the_first_time_ever.html
- 176 **Christensen V., Coll M., Piroddi C., Steenbeek J., Buszowski J. and Pauly D. (2014).** A century of fish biomass decline in the ocean. *Marine Ecology Progress Series*. Vol. 512: 155–166, Published 9th October 2014 doi: 10.3354/meps10946 <https://www.int-res.com/articles/theme/m512p155.pdf>
- 177 **Sala E., Mayorga J., Costello C., Kroodsma D., Palomares M.L.D., Pauly D., Sumaila R. and Zeller D. (2018).** The economics of fishing the high seas. *Science Advances* 06 Jun 2018: Vol. 4, no. 6, eaat2504

- DOI: 10.1126/sciadv.aat2504 <http://advances.sciencemag.org/content/4/6/eaat2504.full>
- 178 **Clarke, S., Sato, M., Small, C., Sullivan, B., Inoue, Y. & Ochi, D. (2014).** Bycatch in longline fisheries for tuna and tuna-like species: a global review of status and mitigation measures <http://www.fao.org/3/a-i4017e.pdf> mitigation measures. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 588. Rome, FAO. 199 pp.
- 179 **Brothers, N, Duckworth A.R., Safina C. and Gilman E.L. (2010).** Seabird Bycatch in Pelagic Longline Fisheries Is Grossly Underestimated when Using Only Haul Data. PLOS One Published 31st August 2010 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0012491> <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0012491>
- 180 **FAO (2018).** La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 2018 – Atteindre les objectifs de développement durable. <http://www.fao.org/3/i9540FR/i9540fr.pdf>
- 181 **Pew Charitable Trusts (2016).** Netting Billions: a global value of tuna. May 2016. http://www.pewtrusts.org/-/media/assets/2016/05/netting_billions.pdf
- 182 **Gershman D, Nickson A, O'Toole M. (2015).** Estimating the use of FADS around the world. An updated analysis of the number of fish aggregating devices deployed in the ocean. Pew Charitable Trusts. November 2015. http://www.pewtrusts.org/-/media/assets/2015/11/global_fad_report.pdf
- 183 **Maufroy A., Kaplan D.M., Bez N., Delgado De Molina A., Murua H., Floch L. and Chassot E. (2017).** Massive increase in the use of drifting Fish Aggregating Devices (dFADs) by tropical tuna purse seine fisheries in the Atlantic and Indian oceans. Handling editor: Jan Jaap Poos; ICES Journal of Marine Science, Volume 74, Issue 1, 1 January 2017, Pages 215–225, <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsw175> <https://academic.oup.com/icesjms/article/74/1/215/2418180>
- 184 **Cressey D. (2014).** Use of 'fish aggregating devices' could be unsustainable. 28th January 2014. Nature. News. <https://www.nature.com/news/use-of-fish-aggregating-devices-could-be-unsustainable-1.14593>
- 185 **Watson R.A. and Morato T. (2013).** Fishing down the deep: Accounting for within-species changes in Depth of fishing. Fisheries Research 140 (2013) 63–65 http://www.academia.edu/2682333/Fishing_down_the_deep_Accounting_for_within-species_changes_in_depth_of_fishing
- 186 **Deep Sea Conservation Coalition (2005).** High seas bottom trawl red herrings: debunking claims of sustainability. Prepared for the DSCC by the Marine Conservation Biology Institute. DSCC April 2005, 16 pp. <http://www.savethehighseas.org/resources/publications/high-seas-bottom-trawl-red-herrings-debunking-claims-sustainability/>
- 187 **Ramirez-Llodra E., Tyler P.A., Baker M.C., Bergstad O.A., Clark M.R., Escobar E., Levin L.A., Menot L., Rowden A.A., Smith C.R. and Van Dover C.L. (2011).** Man and the Last Great Wilderness: Human Impact on the Deep Sea. Plos One. Published 1st August 2011 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0022588> <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0022588>
- 188 **Clark M. R., Althaus F., Schlacher T. A., Williams A., Bowden D. A. and Rowden A. A. (2016).** The impacts of deep-sea fisheries on benthic communities: A review. ICES J. Mar. Sci. 73, 151–169 2016.
- 189 **Pusceddu A., Bianchelli S., Martín J., Puig P., Palanques A., Masqué P. and Danovaro R. (2014).** Chronic and intensive bottom trawling impairs deep-sea biodiversity and ecosystem functioning. Proceedings of the National Academy of Sciences May 2014, 201405454; DOI: 10.1073/pnas.1405454111 <http://www.pnas.org/content/pnas/early/2014/05/14/1405454111.full.pdf>
- 190 **Gianni M., Fuller S.D., Currie D.E.J., Schleit K., Goldsworthy L., Pike B., Weeber B., Owen S., Friedman, A. (2016).** How much longer will it take? A ten-year review of the implementation of United Nations General Assembly resolutions 61/105, 64/72 and 66/68 on the management of bottom fisheries in areas beyond national jurisdiction. Deep Sea Conservation Coalition, August 2016. Available at http://www.savethehighseas.org/wp-content/uploads/2016/08/DSCC-Review-2016_Launch-29-July.pdf
- 191 **Global Ocean Commission (2014).** 03 From Decline to Recovery – A rescue package for the global ocean. http://www.some.ox.ac.uk/wp-content/uploads/2016/03/GOC_report_2015.July_2.pdf
- 192 **Lodge M. (2007).** Managing International Fisheries: Improving Fisheries Governance by Strengthening Regional Fisheries Management Organizations. Chatham House Energy, Environment and Development Programme EEDP BP07/01 March 2007. <https://www.chathamhouse.org/sites/default/files/public/Research/Energy,%20Environment%20and%20Development/bpfisheries0307.pdf>
- 193 **Cullis-Suzuki S. and Pauly D. (2010).** Failing the high seas: A global evaluation of regional fisheries management organizations Marine Policy 34 issue 5 September 2010 pp. 1036–1042 <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2010.03.002>
- 194 **Gilman E.L., Passfield K. and Nakamura K. (2012).** Performance Assessment of Bycatch and Discards Governance by Regional Fisheries Management Organization. Publisher: IUCN International Union for the Conservation of Nature ISBN: 978-2-8317-1361-8 <https://portals.iucn.org/library/efiles/documents/2012-034.pdf>
- 195 **Division des affaires maritimes et du droit de la mer de l'Organisation des Nations unies.** Listes chronologiques de ratifications, adhésions et successions à la Convention aux Accords y relatifs État. http://www.un.org/depts/los/reference_files/chronological_lists_of_ratifications.htm
- 196 **Agnew D.J., Pearce J., Pramod G, Peatman T., Watson R., Beddington J.R. and Pitcher T.J. (2009).** Estimating the worldwide extent of illegal fishing. PLoS ONE 4, e4570. doi:10.1371/journal.pone.0004 <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0004570>
- 197 **FAO.** Accord relatif aux mesures du ressort de l'État du port visant à prévenir, contrecarrer et éliminer la pêche illicite, non déclarée et non réglementée. <http://www.fao.org/3/i5469t/i5469t.pdf>
- 198 **Gjerde K. M., Currie D., Wowk K. and Sack, K. (2013).** Ocean in peril: Reforming the management of global ocean living resources in areas beyond national jurisdiction. Marine Poll Bull 74, 540–551 (2013). https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/32913125/Gjerde_et_al__Ocean_in_Peril_MarPollBul_2013.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1532177291&Signature=H5B227jF%2Fz945mZpABSKERlqRg%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DOcean_in_peril_Reforming_the_management.pdf
- 199 **Horodysky A.Z., Cooke S.J., Graves J.E. and Brill R.W. (2016).** Fisheries conservation on the high seas: linking conservation physiology and fisheries ecology for the management of large pelagic fishes, Conservation Physiology, Volume 4, Issue 1, 1 January 2016, cov059, <https://doi.org/10.1093/conphys/cov059> <https://academic.oup.com/conphys/article/4/1/cov059/2951296>
- 200 **Vilela R., Conesa D., del Río J.L., López-Quílez A., Portela J. and Bellido J.M. (2018).** Integrating fishing spatial patterns and strategies to improve high seas fisheries management. Marine Policy Volume 94, August 2018, Pages 132–142. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308597X17301884>
- 201 **Tyedmers P. H., Watson R. and Pauly D. (2005).** Fuelling global fishing fleets. Ambio 34, 635–638 (2005). https://www.researchgate.net/publication/7256030_Fueling_Global_Fishing_Fleets
- 202 **Madin E.M.P. and Macreadie P. (2015).** Incorporating carbon footprints into seafood sustainability certification and eco-labels. Marine Policy Volume 57, July 2015, pp 178–181 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308597X15000585>
- 203 **Sala E., Mayorga J., Costello C., Kroodsma D., Palomares M.L.D., Pauly D., Sumaila R. and Zeller D. (2018).** The economics of fishing the high seas. Science Advances 06 Jun 2018: Vol. 4, no. 6, eaat2504 DOI: 10.1126/sciadv.aat2504 <http://advances.sciencemag.org/content/4/6/eaat2504.full>
- 204 **International Seabed Authority.** Polymetallic Nodules. Briefing downloaded 29th July 2018. <https://www.isa.org.jm/files/documents/EN/Brochures/ENG7.pdf>
- 205 **The Geological Society.** Deep Sea Minerals. David S Cronan examines the 'then and now' of mineral prospects on the deep ocean bed. <https://www.geolsoc.org.uk/Geoscientist/Archive/September-2015/Deep-sea-minerals> Accessed 29th July 2018.
- 206 **Chronique ONU (2017).** L'autorité internationale des fonds marins et l'exploitation minière des grands fonds marins. Michael Lodge. Volume LIV N°1 & 2, mai 2017. <https://unchronicle.un.org/fr/article/l-autorit-internationale-des-fonds-marins-et-l-exploitation-mini-redes-grands-fonds-marins>
- 207 **Miller K., Thompson K., Johnston P. and Santillo, D. (2018).** An Overview of Seabed Mining Including the Current State of Development, Environmental Impacts, and Knowledge Gaps. Frontiers in Marine Science Volume: 4 DOI: 10.3389/fmars.2017.00418 <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2017.00418/full>
- 208 **Levin L.A., Mengerink K., Gjerde K.M., Rowden A.A., Vandover C.L., Clark M.R., Ramirez-Llodra E., Currie B., Smith C.R., Sato K.N., Gallo N., Sweetman A.K., Lily H., Armstrong C.W. and Bridger J. (2016).** Defining "serious harm" to the marine environment in the context of deep-seabed mining. Marine Policy. 74:245–259. <https://www.>

- sciencedirect.com/science/article/pii/S0308597X1630495X
- 209 **Van Dover C.L., Ardron J.A., Escobar E., Gianni M., Gjerde K.M., Jaeckel A., Jones D., Levin L.A., Niner H., Pendleton L., Smith C.R., Thiele T., Turner P.J., Watling L. and Waver P.P.E. (2017).** Biodiversity Loss from Deep-sea Mining. *Nature Geoscience*, June 26 2017. DOI: 10.1038/ngeo2983 https://www.researchgate.net/publication/318093120_Biodiversity_loss_from_deep-sea_mining
- 210 **HuffPost (2015).** Deep Sea Mining a New Ocean Threat. By Richard Steiner 20th October 2015. https://www.huffingtonpost.com/richard-steiner/deep-sea-mining-new-threa_b_8334428.html
- 211 **Teste, S., Florin, N., Dominish, E. and Giurco, D. (2016).** Renewable Energy and Deep Sea Mining: Supply, Demand and Scenarios. University of Technology Sydney <https://opus.lib.uts.edu.au/handle/10453/67336>
- 212 **Autorité internationale des fonds marins.** Contractants des fonds marins. <https://www.isa.org.jm/fr/contractants-des-fonds-marins>
- 213 **Deep Sea Conservation Coalition (2018).** Briefing to the International Seabed Authority for the 24th Session 16-27 July 2018. <http://www.savethehighseas.org/wp-content/uploads/2018/07/DSCC-ISA-briefing-2018-FINAL.pdf>
- 214 **Joint NGO call on the International Seabed Authority: Protect the marine environment from harm! Submission on the ISA's Draft Strategic Plan. (2018).** Available at http://www.savethehighseas.org/wp-content/uploads/2019/01/2018_04_27_NGO_submission_to_ISA_9_07.pdf
- 215 **Japan Times (2017).** Japan successfully undertakes large-scale deep-sea mineral extraction. 26th September 2018. <https://www.japantimes.co.jp/news/2017/09/26/national/japan-successfully-undertakes-large-scale-deep-sea-mineral-extraction/#.W18DBLgnZPZ>
- 216 **Press Oracle (2018).** Nautilus Minerals (NUS) Hits New 1-Year Low at \$0.15. Posted by Trina Covell 23rd July 2018. <https://pressoracle.com/2018/07/23/nautilus-minerals-nus-hits-new-1-year-low-at-0-15.html>
- 217 **Creamer Media's Mining Weekly (2018).** Nautilus secures additional loan from Deep Sea Mining. 12th July 2018. <http://www.miningweekly.com/article/nautilus-secures-additional-loan-from-deep-sea-mining-2018-07-12>
- 218 **Wedding L. M., Reiter S. M., Smith C. R., Gjerde K. M., Kittinger J. M., Friedlander A. M., Gaines S.D., Clark M.R., Thurnherr A.M., Hardy S.M. and Crowder L.B. (2015).** Managing mining of the deep seabed. *Science* 349, 144–145. doi: 10.1126/science.aac6647 https://www.researchgate.net/publication/279966280_OCEANS_Managing_mining_of_the_deep_seabed
- 219 **Thompson K.F., Miller K.A., Currie D., Johnston P. and Santillo D. (2018).** Seabed Mining and Approaches to Governance of the Deep Seabed. *Frontiers in Marine Science*. 11th December 2018 <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00480>
- 220 **Kelley D.S., Früh-Green G.L., Karson J.A. and Ludwig K.A. (2007).** The Lost City Hydrothermal Field Revisited. *Oceanography* Vol. 20 No. 4 <http://www.lostcity.washington.edu/files/kelley.2007.pdf>
- 221 **Kelley D.S. (2005).** From the Mantle to Microbes – The Lost City Hydrothermal Field. *Oceanography* Vol. 18 No. 3 sept 2005. <http://www.lostcity.washington.edu/files/kelley.2005bsm.pdf>
- 222 **Nature (2005).** Deep-sea mission finds life in the Lost City. *Nature News* Jessica Ebert | *Nature* | doi:10.1038/news050228-14 <https://www.nature.com/news/2005/050228/full/050228-14.html>
- 223 **Ludwig K.A., Kelley D.S., Butterfield D.A., Nelson B.K. and Früh-Green G.L. (2006).** Formation and evolution of carbonate chimneys at the Lost City Hydrothermal Field *Geochimica et Cosmochimica Acta* 70 (2006) 3625–3645 <http://www.lostcity.washington.edu/files/ludwig.2006.pdf>
- 224 **Früh-Green G.L., Kelley D.S., Bernasconi S.M., Karson J.A., Ludwig K.A., Butterfield D.A., Boschi C. and Proskurowski G. (2003)** 30,000 Years of hydrothermal activity at the Lost City Vent Field. *Science* 301:495–498.
- 225 **Brazelton W.J., Ludwig K.A., Sogin M.L., Andreishcheva E.N., Kelley D.S., Shen C., Edwards R.L. and Baros J.A. (2010).** Archaea and bacteria with surprising microdiversity show shifts in dominance over 1,000-year time scales in hydrothermal chimneys. *PNAS* 2010 Jan 26;107(4):1612-7. doi: 10.1073/pnas.0905369107 <https://www.pnas.org/content/pnas/early/2010/01/06/0905369107.full.pdf>
- 226 **Kelley D.S., Karson J.A., Früh-Green G.L., Yoerger D.R., Shank T.M., Butterfield D.A., Hayes J.M., Schrenk M.O., Olson E.J., Proskurowski G., Jakuba M., Bradley A., Larson B., n Ludwig K., Glickson D., Buckman K., der S. Bradley A.S., Brazelton W.J., Roe K., Elend M.J., Delacour A., Bernasconi S.M., Lilley M.D., Baross J.A., Summons R.E. and Sylva S.P. (2005).** A Serpentinite-Hosted Ecosystem: The Lost City Hydrothermal Field. *Science* 04 Mar 2005: Vol. 307, Issue 5714, pp. 1428-1434 DOI: 10.1126/science.110255
- 227 **NASA (2013).** The 'Lost City' Formation. <https://www.nasa.gov/content/the-lost-city-formation#.XEr2bs3gpPY> Accessed 25th January 2019.
- 228 **Freestone D., Laffoley D., Douvère F. and Badman T. (2016).** Le patrimoine mondial en haute mer : une idée qui fait son chemin. UNESCO / UICN. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247098>
- 229 **Autorité internationale des fonds marins.** Contractants des fonds marins. <https://www.isa.org.jm/fr/contractants-des-fonds-marins>
- 230 **Sky News (2018).** Deep sea mining could destroy underwater Lost City, scientists warn. By Ed Conway, Economics Editor 6th March 2018. <https://news.sky.com/story/deep-sea-mining-could-destroy-underwater-lost-city-scientists-warn-11277837>
- 231 **Van Dover C.L., Arnaud-Haond S., Gianni M., Helmreich S., Hubere J.A., Jaeckel A.L., Metaxas A., Pendleton L.H., Petersen S., Ramirez-Llodra E., Steinberg P.E., Tunnicliffe V. and Yamamoto H. (2018).** Scientific rationale and international obligations for protection of active hydrothermal vent ecosystems from deep-sea mining. *Marine Policy* Volume 90, April 2018, Pages 20-28 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308597X17306061#>
- 232 **Bhatia, B. and Chugh, A. (2015).** Role of marine bioprospecting contracts in developing access and benefit sharing mechanism for marine traditional knowledge holders in the pharmaceutical industry. *Global Ecology and Conservation* Volume 3, January 2015, Pages 176-187. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351989414000857>
- 233 **Phys.org (2018).** Patenting marine genetic resources: Who owns ocean biodiversity? 6th June 2018. <https://phys.org/news/2018-06-patenting-marine-genetic-resources-ocean.html>
- 234 **Fujiwara S. (2002).** Extremophiles: Developments of their special functions and potential resources. *Journal of Bioscience and Bioengineering* Volume 94, Issue 6, December 2002, Pages 518-525
- 235 **Greiber T. (2011).** Access and Benefit Sharing in Relation to Marine Genetic Resources from Areas Beyond National Jurisdiction - A Possible Way Forward, Federal Agency for Nature Conservation, (Bonn, Germany: Bundesamt für Naturschutz, 2011). https://www.bfn.de/fileadmin/MBD/documents/service/Skript_301.pdf
- 236 **Arico, S. and Salpin, C. (2005).** Bioprospecting of Genetic Resources in the Deep Seabed: Scientific, Legal and Policy Aspects. UNU-IAS Report. <https://www.cbd.int/financial/bensharing/g-absseabed.pdf>
- 237 **GIEC (2014).** Changements climatiques 2014: Rapport de synthèse. Contribution des Groupes de travail I, II et III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Sous la direction de l'équipe de rédaction principale, R.K. Pachauri et L.A. Meyer]. GIEC, Genève, Suisse, 161 p. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_fr.pdf
- 238 **Brierley A.S. and Kingsford M.J. (2009).** Impacts of Climate Change on Marine Organisms and Ecosystems. *Current Biology*. Volume 19, Issue 14, 28 July 2009, Pages R602-R614. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.05.046>
- 239 **Assemblée générale des Nations unies (2015).** Résumé de la première évaluation mondiale intégrée du milieu marin <http://daccess-ods.un.org/access.nsf/>
- 240 **Assemblée générale des Nations unies (2015).** Résumé de la première évaluation mondiale intégrée du milieu marin <http://daccess-ods.un.org/access.nsf/>
- 241 **Cheng L., Trenberth K.E., Fasullo J., Boyer T., Abraham J. and Zhu J. (2015).** Improved estimates of ocean heat content from 1960 to 2015. *Science Advances* 10th March 2017: Vol. 3, no. 3, e1601545 DOI: 10.1126/sciadv.1601545.
- 242 **GIEC (2014).** Changements climatiques 2013. Les éléments scientifiques. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGIAR5_SPM_brochure_fr.pdf
- 243 **Dahlman L. and Lindsey R. (2018).** Climate Change: Ocean Heat Content. NOAA Climate.gov 1st August 2018. <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-ocean-heat-content>

- 244 **GIEC.** Incidences de l'évolution du climat dans les régions : évaluation de la vulnérabilité <https://www.ipcc.ch/report/the-regional-impacts-of-climate-change-an-assessment-of-vulnerability/>
- 245 **NSDIC.** SOTC: Contribution of the Cryosphere to Changes in Sea Level. https://nsidc.org/cryosphere/sotc/sea_level.html Accessed 17th October 2018
- 246 **Hill E.A., Carr J.R. and Stokes C.R.A. (2017).** A Review of Recent Changes in Major Marine-Terminating Outlet Glaciers in Northern Greenland. *Frontiers in Marine Science*. 10th January 2017 | <https://doi.org/10.3389/feart.2016.00111>
- 247 **Meredith M. et al. (2018).** The State of the Polar Oceans 2018. Making Sense of Our Changing World. Published by the British Antarctic Survey. https://www.bas.ac.uk/wp-content/uploads/2018/07/State-of-the-Polar-Oceans-2018_final.pdf
- 248 **Polyakov I.V., Pnyushkov A.V., Alkire M.B., Ashik I.M., Baumann T.M., Carmack E.C., Goszczko I., Guthrie J., Ivanov V.V., Kanzow T., Krishfield R., Kwok R., Sundfjord A., Morison J., Rember R. and Yulin A. (2017).** Greater role for Atlantic inflows on sea-ice loss in the Eurasian Basin of the Arctic Ocean, *Science* (2017). DOI: 10.1126/science.aai8204
- 249 **Norwegian Polar Institute (2014).** Climate change: effects on marine ecosystems (Last changed 4th March 2014). <http://www.npolar.no/en/themes/climate/climate-change/ecosystems/marine.html#swipa2011>
- 250 **Villarrubia-Gomez P., Albinus Sogaard H., Samuelsson K., Laggan S. and Blenckner T. (2017).** Primary Production in the Arctic Ocean. In: Regime Shifts Database, www.regimeshifts.org. Last revised 2017-10-16 18:30:40 GMT. <http://www.regimeshifts.org/item/616-primary-production-in-the-arctic-ocean#>
- 251 **Arrigo K.R. and van Dijken G.L. (2015).** Continued increases in Arctic Ocean primary production. *Progress in Oceanography* Volume 136, August 2015, Pages 60-70. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079661115000993>
- 252 **Kuletz K.J and Karnovsky N.J. (2012)** Seabirds. Arctic Report card. November 11th 2012 <http://www.arctic.noaa.gov/report12/seabirds.html>
- 253 **Laidre K.L., Stern H., Kovacs K.M., Lowry L., Moore S.E., Regehr E.V., Ferguson S.H., Wiig Ø., Boveng P., Angliss R.P., Born E.W., Litovka D., Quakenbush L., Lydersen C., Vongraven D. and Ugarte F. (2015).** Arctic marine mammal population status, sea ice habitat loss, and conservation recommendations for the 21st century. *Conservation Biology*. doi: 10.1111/cobi.12474
- 254 **McKenna P. (2017).** As Arctic Sea Ice Disappears, 2,000 Walrus Mob Remote Alaska Beach. 17th August 2017. *Inside Climate News*. <https://insideclimatenews.org/news/17082017/walrus-alaska-haul-out-climate-change-sea-ice-temperature-records>
- 255 **Wiig Ø., Amstrup S., Atwood T., Laidre K., Lunn N., Obbard M., Regehr E. and Thiemann G. (2015).** Ursus maritimus. The IUCN Red List of Threatened Species 2015: e.T22823A14871490. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2015-4.RLTS.T22823A14871490.en>. Downloaded on 18 October 2018.
- 256 **Pagano A.M., Durner G.M., Rode K.D., Atwood T.C., Atkinson S.N., Peacock E., Costa D.P., Owen M.A. and Williams T.M. (2018).** High-energy, high-fat lifestyle challenges an Arctic apex predator, the polar bear. *Science* 02 Feb 2018: Vol. 359, Issue 6375, pp. 568-572 DOI: 10.1126/science.
- 257 **National Geographic News (2011).** Longest Polar Bear Swim Recorded—426 Miles Straight: Study predicts more long-distance swims due to shrinking sea ice. Anne Casselman for National Geographic News July 20, 2011 <http://news.nationalgeographic.com/news/2011/07/110720-polar-bears-global-warming-sea-ice-science-environment/>
- 258 **Prop J, Aars J, Bårdsen B-J, Hanssen SA, Bech C, Bourgeon S, de Fouw J, Gabrielsen GW, Lang J, Noreen E, Oudman T, Sittler B, Stempniewicz L, Trombre I, Wolters E and Moe B (2015).** Climate change and the increasing impact of polar bears on bird populations. *FronMct. Ecol. Evol.* 3:33. doi: 10.3389/fevo.2015.00033
- 259 **McSweeney R., (2015).** Warming Arctic to break down barriers between Atlantic and Pacific fish, study finds. Blog The Carbon Brief 27th January 2015 <http://www.carbonbrief.org/blog/2015/01/warming-arctic-to-break-down-barriers-between-atlantic-and-pacific-fish-study-finds/>
- 260 **Wassmann, P., C. M. Duarte, S. Agustí, and M. K. Sejr (2011).** Footprints of climate change in the Arctic marine ecosystem. *Global Change Biology* 17(2): 1235-1249.
- 261 **New Scientist (2012).** A rush for oil, gas and valuable minerals is taking place on the roof of the world. *New Scientist* offers a guided tour of the region's riches. 6 October 2012
- 262 **Alfred Wegener Institute (2013).** Escaping the warmth: The Atlantic cod conquers the Arctic. Press release 17 October 2013. http://www.awi.de/en/news/press_releases/detail/item/escaping_the_heat_the_atlantic_cod_conquers_the_arctic/?cHash=a37b1f4d9f2329fe96868717d233b68b
- 263 **Berge, Jørgen et al. (2015).** First Records of Atlantic Mackerel (*Scomber scombrus*) from the Svalbard Archipelago, Norway, with Possible Explanations for the Extension of Its Distribution. *ARCTIC*, [S.I.], v. 68, n. 1, p. 54–61, Feb. 2015. ISSN 1923-1245. Available at: <http://arctic.journalhosting.ucalgary.ca/arctic/index.php/arctic/article/view/4455> Date accessed: 19 Mar. 2015. doi: <http://dx.doi.org/10.14430/arctic4455>
- 264 **Landa C.S., Ottersen G., Sundby S., Dingsør G.E., and Stiansen J.E. (2014).** Recruitment, distribution boundary and habitat temperature of an arcto-boreal gadoid in a climatically changing environment: a case study on Northeast Arctic haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) *Fisheries Oceanography*, 23 (6), 506-520 : 10.1111/fog.12085
- 265 **Hop H. and Gjøsaeter H. (2013).** Polar cod (*Boreogadus saida*) and capelin (*Mallotus villosus*) as key species in marine food webs of the Arctic and the Barents Sea, *Marine Biology Research*, 9:9, 878-894, DOI:10.1080/17451000.2013.77545 <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/17451000.2013.775458>
- 266 **Yound O.R., Kim J.D. and Kim Y.H. (Editors) (2013).** The Arctic in World Affairs – A North Pacific dialogue on the future of the Arctic. 2013 North Pacific Arctic conference proceedings. Published by Korea Maritime Institute and East-West Center December 2013. ISBN:978-89-7998-939-7 93300 <http://www.kmi.re.kr/kmi/kr/download/2013NPAC.pdf>
- 267 **Fosheim M., Primicerio R, Johannesen E., Ingvaldsen R.B., Aschan M.M and Dolgov A.V. (2015).** Recent warming leads to a rapid borealization of fish communities in the Arctic. *Nature Climate Change* (2015) doi:10.1038/nclimate2647 Received 22 October 2014 Accepted 09 April 2015 Published online 18 May 2015
- 268 **Sumaila U.R., Cheung W.W.L., Lam V.W.Y., Pauly D. and Herrick S. (2015).** Climate change impacts on the biophysics and economics of world fisheries. *Nature Climate Change* 1(9) · December 2011. https://www.researchgate.net/publication/253937637_Climate_Change_Impacts_on_the_Biophysics_and_Economics_of_World_Fisheries
- 269 **Stramma L., Schmidtko S., Levin L.A., Johnson G.C. (2010).** Ocean oxygen minima expansions and their biological impacts. *Deep Sea Res. Part I Oceanogr. Res. Pap.* 57, 587–595. doi:10.1016/j.dsr.2010.01.005
- 270 **Gilly W.F., Beman J.M., Litvin S.Y. and Robison B.H. (2013).** Oceanographic and Biological Effects of Shoaling of the Oxygen Minimum Zone. Annual review of Marine Science 2013. 5:393–420. <http://michel.stanford.edu/pdf/oceanographicandbiologicaleffectsofshoaling.pdf>
- 271 **Stramma L., Prince E.D., Schmidtko S., Luo J., Hoolihan J.P., Visbeck M., Wallace D.W.R., Brandt P. and Körtzinger A. (2012).** Expansion of oxygen minimum zones may reduce available habitat for tropical pelagic fishes. *Nature Climate Change* volume 2, pages 33–37 (2012) <https://doi.org/10.1038/nclimate1304>
- 272 **Gilly W.F., Beman J.M., Litvin S.Y. and Robison B.H. (2013).** Oceanographic and Biological Effects of Shoaling of the Oxygen Minimum Zone. Annual review of Marine Science 2013. 5:393–420. <http://michel.stanford.edu/pdf/oceanographicandbiologicaleffectsofshoaling.pdf>
- 273 **GIEC (2014).** Changements climatiques 2013. Les éléments scientifiques ; Foire aux questions. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGIAR5_SPM_brochure_fr.pdf
- 274 **Sosdian S.M., Greenop R., Hain M.P., Foster G.L., Pearson P.N. and Lear C.H. (2018).** Constraining the evolution of Neogene ocean carbonate chemistry using the boron isotope pH proxy. *Earth and Planetary Science Letters* Volume 498, 15 September 2018, Pages 362-376 <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2018.06.017>
- 275 **Barry J.P., Widdicombe S. and Hall-Spencer J.M. (2011).** Effects of Ocean Acidification on Marine Biodiversity and Ecosystem Function In book: *Ocean acidification*, Chapter: 10, Publisher: Oxford, pp.192-209 https://www.researchgate.net/publication/230650830_Effects_of_Ocean_Acidification_on_Marine_Biodiversity_and_Ecosystem_Function

- 276 **Perez, F. F., Fontela M., García-Ibáñez M.I., Mercier H., Velo A., Lherminier P., Zunino P., de la Paz M., Alonso-Pérez F., Guallart E.F. and Padin X.A. (2018).** Meridional overturning circulation conveys fast acidification to the deep Atlantic Ocean, *Nature*, <http://nature.com/articles/doi:10.1038/nature25493>
- 277 **Ocean Acidification International Coordination Centre (OA-ICC).** (2018). Acidification could leave oceans 'uninhabitable' for cold-water corals. 13th February 2018. <https://news-oceanacidification-icc.org/2018/02/13/acidification-could-leave-oceans-uninhabitable-for-cold-water-corals/>
- 278 **Reef Resilience Network.** Biological Impacts of Ocean Acidification <http://www.reefresilience.org/coral-reefs/stressors/ocean-acidification/biological-impacts-of-ocean-acidification/> Accessed 10th October 2018.
- 279 **Jamieson A.J., Malkocs T., Piertney S.B., Fujii T. and Zhang Z. (2017).** Bioaccumulation of persistent organic pollutants in the deepest ocean fauna. *Nature Ecology & Evolution* volume 1, Article number: 0051 (2017). DOI:10.1038/s41559-016-0051
- 280 **Jean-Pierre Desforges J.-P., Hall A., McConnell B., Rosing-Asvid A., Barber J.L., Brownlow A., De Guise S., Eulaers I., Jepson P.D., Letcher R.J., Levin M., Ross P.S., Samarra F., Vikingsson G., Sonne C. and Dietz R. (2018).** Predicting global killer whale population collapse from PCB pollution. *Science* 28 Sep 2018: Vol. 361, Issue 6409, pp. 1373-1376 DOI: 10.1126/science.aat1953
- 281 **United Nations Environment Programme (UNEP) (2013).** Global Mercury Assessment: Sources, Emissions, Releases and Environmental Transport (Geneva, 2013). <https://www.zaragoza.es/contenidos/medioambiente/onu/942-eng.p>
- 282 **Lamborg C.H., Hammerschmidt C.R., Bowman K.L., Swarr C.J., Munson K.M., Ohnemus D.C., Lam P.J., Heimbürger L., Rijkenberg M.J.A. and Saito M.A. (2014).** A global ocean inventory of anthropogenic mercury based on water column measurements. *Nature* volume 512, pages 65–68 (07 August 2014).
- 283 **Schartup A.T., Qureshi A., Dassuncao C., Thackray C.P., Harding G., and Sunderland E.M. (2018).** A Model for Methylmercury Uptake and Trophic Transfer by Marine Plankton *Environmental Science & Technology* 2018 52 (2), 654–662 DOI: 10.1021/acs.est.7b03821
- 284 **DW.com (2018).** Sunken oil tanker: How to protect the high seas environment? By Irene Banos Ruiz 15th January 2018. <https://www.dw.com/en/sunken-oil-tanker-how-to-protect-the-high-seas-environment/a-42150179>
- 285 **Dalya K.L., Passow U., Chantonc J. and Hollander D. (2016).** Assessing the impacts of oil-associated marine snow formation and sedimentation during and after the Deepwater Horizon oil spill. *Anthropocene* Volume 13, March 2016, Pages 18-33. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213305416300066>
- 286 **NOAA (2017).** Deepwater Horizon Oil Spill Longterm Effects on Marine Mammals, Sea Turtles. 20th April 2017. <https://oceanservice.noaa.gov/news/apr17/dwh-protected-species.html>
- 287 **Lebreton L.C.M., van der Zwet J., Damsteeg J-W., Slat B., Andriady A. and Reisser J. (2017).** River plastic emissions to the world's oceans. *Nature Communications* volume 8, Article number: 15611 (2017). <https://www.nature.com/articles/ncomms15611>
- 288 **Science Alert (2018).** A Plastic Bag Was Found at The Deepest Point on Earth, And We Should All Be Ashamed. By Peter Dockrill 10th May 2018. <https://www.sciencealert.com/plastic-bag-found-deepest-point-ocean-we-should-all-be-ashamed-mariana-trench-pollution>
- 289 **Eriksen M., Lebreton L.C.M., Carson H.S., Thiel M., Moore C.J., Borerro J.C., Galgani F., Ryan P.G. and Reisser J. (2014).** Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea. *PLOS ONE* 10th December 2014 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111913>
- 290 **National Oceanic and Atmospheric Administration Marine Debris Program. (2017).** Report on Marine Debris as a Potential Pathway for Invasive Species. Silver Spring, MD: National Oceanic and Atmospheric Administration Marine Debris Program. <https://marinedebris.noaa.gov/reports/marine-debris-potential-pathway-invasive-species>
- 291 **Gall S.C. and Thompson R.C. (2015).** The impact of debris on marine life. *Marine Pollution Bulletin* Volume 92, Issues 1–2, 15 March 2015, Pages 170-179. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X14008571>
- 292 **Arthur C., Baker J. and Bamford H. (2009).** Proceedings of the International Research Workshop on the occurrence, Effects and Fate of Microplastic Marine Debris. Sept 9-11, 2008. NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-30
- 293 **Woodall L.C., Sanchez-Vidal A., Canals M., Paterson G.L.J., Coppock R., Sleight V., Calafat A., Rogers A.D., Narayanaswamy B.E. and Thompson R.C. (2014).** The deep sea is a major sink for microplastic debris. *Royal Society for Open Science* Published 17th December 2014. DOI: 10.1098/rsos.140317
- 294 **Greenpeace International (2018).** Microplastics and persistent fluorinated chemicals in the Antarctic. <https://storage.googleapis.com/p4-production-content/international/wp-content/uploads/2018/06/4f99ea57-microplastic-antarctic-report-final.pdf>
- 295 **Duncan E.M., Broderick A.C., Fuller W.J., Galloway T.S., Godfrey M.H., Hamann M., Limpus C.J., Lindeque P.K., Mayes A.G., Omeyer L.C.M., Santillo D., Snape R.T.E. and Godley B.J. (2019).** Microplastic ingestion ubiquitous in marine turtles. *Glob Change Biol.* 2019;25:744–752 DOI: 10.1111/gcb.14519
- 296 **Nelms S.E., Barnett J., Brownlow A., Davison N.J., Deaville R., Galloway T.S., Lindeque P.K., Santillo D. and Godley B.J. (2019).** Microplastics in marine mammals stranded around the British coast: ubiquitous but transitory? *Scientific Reports* volume 9, Article number: 1075 (2019) <https://doi.org/10.1038/s41598-018-37428-3>
- 297 **Greenpeace Research Laboratories (2016).** Plastics in Seafood. <https://storage.googleapis.com/gpuk-static/legacy/PlasticsInSeafood-Final.pdf>
- 298 **UNEP (2016).** Marine plastic debris and microplastics – Global lessons and research to inspire action and guide policy change. United Nations Environment Programme, Nairobi: 192 pp. <http://hdl.handle.net/20.500.11822/7720>
- 299 **Payne R. and Webb D. (1971).** Orientation by means of long range acoustic signalling in baleen whales. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 188 (1971), pp. 110-142 <https://nyaspubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1749-6632.1971.tb13093.x>
- 300 **Williams R., Wright A.J., Ashe E., Blight L. K., Brintjes R., Canessa R., Clark C.W., Cullis-Suzuki S., Dakin D.T., Erbe C., Hammond P.S., Merchant M.D., O'Hara P.D., Purser J., Radford A.N., Simpson S.D., Thomas L. and Wale M.A. (2015).** Impacts of anthropogenic noise on marine life : publication patterns, new discoveries, and future directions in research and management. *Ocean and Coastal Management*, vol 115, pp. 17-24. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2015.05.021
- 301 **Parsons E.C.M. (2017).** Impacts of Navy Sonar on Whales and Dolphins: Now beyond a Smoking Gun? *Frontiers in Marine Science*, 13th September 2017 <https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00295>. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2017.00295/full>
- 302 **Peng C., Zhao X. and Liu G. (2015).** Noise in the Sea and Its Impacts on Marine Organisms. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(10), 12304–12323. <http://doi.org/10.3390/ijerph121012304> <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4626970/>
- 303 **Slabbekoorn H., Bouton N., van Opzeeland I., Coers A., ten Cate C. and Popper A.N. (2010).** A noisy spring: the impact of globally rising underwater sound levels on fish. *Trends in Ecology and Evolution* 25(7):419-27 · July 2010. <https://www.nrc.gov/docs/ML1434/ML14345A584.pdf>
- 304 **Hawkins A.D. and Popper A.N. (2016).** A sound approach to assessing the impact of underwater noise on marine fishes and invertebrates. *ICES Journal of Marine Science*, Volume 74, Issue 3, 1 March 2017, Pages 635–651, <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsw205>
- 305 **CBD (2012).** Scientific Synthesis on the Impacts of Underwater Noise on Marine and Coastal Biodiversity and Habitats. UNEP/CBD/SBSTTA/16/INF/12 12th March 2012. <https://www.cbd.int/doc/meetings/sbstta/sbstta-16/information/sbstta-16-inf-12-en.pdf>
- 306 **Assemblée générale des Nations unies (2018).** Soixante-troisième session Point 77 a) de la liste préliminaire. Les océans et le droit de la mer. Rapport du secrétaire général. <https://undocs.org/fr/a/73/68>
- 307 **IISD (2018).** 19th Meeting of the UN Open-ended Informal Consultative Process on Oceans and the Law of the Sea Anthropogenic Underwater Noise. 18-22 June 2018 | UN Headquarters, New York Summary Highlights for the Meeting. <http://enb.iisd.org/oceans/icp19/>
- 308 **High Seas Alliance (2018).** High Seas Alliance Statement to ICP on Anthropogenic Ocean Noise. Published on-line 18th June 2018. <http://highseasalliance.org/content/high-seas-alliance-statement-icp-anthropogenic-ocean-noise>
- 309 **Williams R., Erbe C., Ashe E. and Clark C.W. (2015).** Quiet(er) marine

- protected areas. *Marine Pollution Bulletin* Volume 100, Issue 1, 15 November 2015, Pages 154-161. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X1530028X>
- 310 **Organisation maritime internationale.** Géo-ingénierie marine – Directives et Amendements en vertu de la Convention et du Protocole de Londres <http://www.imo.org/fr/ourwork/environment/lclp/emergingissues/geoengineering/pages/default.aspx>
- 311 **Williamson P., and Bodle R. (2016).** Update on Climate Geoengineering in Relation to the Convention on Biological Diversity: Potential Impacts and Regulatory Framework. Technical Series No.84. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal, 158 pages.
- 312 **Lange R. and Marshall D. (2017).** Ecologically relevant levels of multiple, common marine stressors suggest antagonistic effects. *Scientific Reports* volume 7, Article number: 6281 (2017). <https://www.nature.com/articles/s41598-017-06373-y>
- 313 **Rogers, A.D. and Laffoley D. (2013).** Introduction to the special issue: The global state of the ocean; interactions between stresses, impacts and some potential solutions. Synthesis papers from the International Programme on the State of the Ocean 2011 and 2012 workshops. *Editorial/Marine Pollution Bulletin* 74 (2013) 491–494. <http://danlaffoley.com/wp-content/uploads/1-s2.0-S0025326X13003913-main.pdf>
- 314 **Crain C.M., Kroeker K. and Halpern B. (2008).** Interactive and cumulative effects of multiple human stressors in marine systems. *Ecology Letters*, (2008 11: 1304–1315 doi: 10.1111/j.1461-0248.2008.01253
- 315 **Gunderson A.R., Eric J. Armstrong E.J. and Stillman J.H. (2016).** Multiple Stressors in a Changing World: The Need for an Improved Perspective on Physiological Responses to the Dynamic Marine Environment. *Annual Review of Marine Science* 8(1) · September 2015. DOI: 10.1146/annurev-marine-122414-033953
- 316 **Folke C., Carpenter S., Walker B., Scheffer M., Elmqvist T., Gunderson L. and Holling C.S. (2004).** Regime shifts, resilience and biodiversity in ecosystem management. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 35, 557–581. doi:10.1146/annurev.ecolsys.35.021103.105711
- 317 **Kirby R.R., Beaugrand G. and Lindley J.A. (2009).** Synergistic Effects of Climate and Fishing in a Marine Ecosystem. *Ecosystems* June 2009, Volume 12, Issue 4, pp 548–561 <https://doi.org/10.1007/s10021-009-9241-9>
- 318 Rosa R. and Seibel B.A. (2008). **Synergistic effects of climate-related variables suggest future physiological impairment in a top oceanic predator.** *PNAS* December 30, 2008 105 (52) 20776-20780; <https://doi.org/10.1073/pnas.0806886105>
- 319 **NERC/GW4+ Synergic impact of microplastics and Ocean Acidification on zooplankton in the Southern Ocean.** <https://nercgw4plus.ac.uk/project/synergic-impact-of-microplastics-and-ocean-acidification-on-zooplankton-in-the-southern-ocean/> Accessed 2nd November 2018.
- 320 **Briggs J., Baez S.K., Dawson T., Golder B., O’Leary B.C., Petit J., Roberts C.M., Rogers A. and Villagomez A. (2018).** Recommendations to IUCN to Improve Marine Protected Area Classification and Reporting. 6th February 2018. Document submitted by the Pew Bertarelli Ocean Legacy Project. <https://www.pewtrusts.org/-/media/assets/2018/02/recommendations-to-iucn-on-implementing-mpa-categories-for-printing.pdf>
- 321 **Day J., Dudley N., Hockings M., Holmes G., Laffoley D., Stolton S. and Wells S. (2012).** Application des catégories de gestion aux aires protégées : lignes directrices pour les aires marines. IUCN. ISBN : 978-2-8317-1524-7 <https://www.iucn.org/fr/content/application-des-categories-de-gestion-aux-aires-protgees-lignes-directrices-pour-les-aires-marines>
- 322 **IUCN WCPA (2018).** Application des normes mondiales de conservation de l’IUCN aux Aires Marines Protégées (AMP) https://www.iucn.org/sites/dev/files/content/documents/2018/french_applying_mpa_global_standards_v120218_french_final.pdf
- 323 **Edgar G.J., Stuart-Smith R.D., Willis T.J. et al. (2014).** Global conservation outcomes depend on marine protected areas with five key features. February 2014 *Nature* 506:216–220 DOI: 10.1038/nature13022 https://www.researchgate.net/publication/260085310_Global_conservation_outcomes_depend_on_marine_protected_areas_with_five_key_features
- 324 **Sala E. and Giakoumi S. (2017).** Food for Thought No-take areas are the most effective protected areas in the ocean. August 2017 *ICES Journal of Marine Science* 75(3) DOI: 10.1093/icesjms/fsx059 https://www.researchgate.net/publication/319502793_No-take_marine_reserves_are_the_most_effective_protected_areas_in_the_ocean
- 325 **Lester S.E., Halpern B.S., Grorud-Colvert K., Lubchenco J., Ruttenberg B.I., Gaines S.D., Airamé S. and Warner R.R. (2009).** Biological effects within no-take marine reserves: a global synthesis. *Marine Ecology Progress Series* Vol. 384: 33 – 46, 2009 doi:10.3354/meps08029 <https://www.int-res.com/articles/meps2009/384/m384p033.pdf>
- 326 **Sala, E., and Giakoumi S. (2017).** No-take marine reserves are the most effective protected areas in the ocean. – *ICES Journal of Marine Science*. doi:10.1093/icesjms/fsx059
- 327 **Sala E. and Giakoumi S. (2017).** Sala and Giakoumi’s Final Word. – *ICES Journal of Marine Science*, doi:10.1093/icesjms/fsx1
- 328 **O’Leary B.C. and Roberts C.M. (2018).** Ecological connectivity across ocean depths: implications for protected area design. *Global Ecology and Conservation*. ISSN 2351-9894 <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2018.e00431>
- 329 **Hixon M.A., Johnson D.W. and Sogard S.M. (2014).** BOFFFFs: on the importance of conserving old-growth age structure in fishery populations. *ICES Journal of Marine Science*, Volume 71, Issue 8, 1 October 2014, Pages 2171–2185, <https://doi.org/10.1093/icesjms/fst200> <https://academic.oup.com/icesjms/article/71/8/2171/748104>
- 330 **Shears N.T. and Babcock R. C. (2003).** Continuing trophic cascade effects after 25 years of no-take marine reserve protection. *Marine Ecology Progress Series*, 246: 1–16 2003. <https://www.int-res.com/articles/meps2003/246/m246p001.pdf>
- 331 **Guidetti, P., and Sala, E. (2007).** Community-wide effects of marine reserves in the Mediterranean Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 335: 43–56. https://www.researchgate.net/publication/230583827_Community-Wide_Effects_of_Marine_Reserves_in_the_Mediterranean_Sea
- 332 **Payne J.L., Bush A.M., Heim N.A., Knope M.L., and McCauley D.J. (2016).** Ecological selectivity of the emerging mass extinction in the oceans. *Science* 16 Sep 2016: Vol. 353, Issue 6305, pp. 1284-1286 DOI: 10.1126/science.aaf2416
- 333 **Certain G., Masse J., Van Canneyt O., Petitgas P., Doremus G., Santos M.B. and Ridou V. (2011).** Investigating the coupling between small pelagic fish and marine top predators using data collected from ecosystem-based surveys. *Marine Ecology Progress Series*. Vol. 422: 23 – 39, 2011 doi:10.3354/meps08932 <https://www.int-res.com/articles/meps2010/422/m422p023.pdf>
- 334 **Witman J.D., Smith F. and Novak M. (2011).** Experimental demonstration of a trophic cascade in the Galápagos rocky subtidal: Effects of consumer identity and behavior. *PLOS ONE*, 2017; 12 (4): e0175705 DOI: 10.1371/journal.pone.0175705
- 335 **Hooker S.K., Cañadas A., Hyrenbach K.D., Corrigan C., Polovina J.J. and Reeves R.R. (2011).** Making protected area networks effective for marine top predators. *Endangered Species Research* Vol. 13: 203–218, 2011 doi: 10.3354/esr00322 https://www.int-res.com/articles/esr_oa/n013p203.pdf
- 336 **Boustany A. M., Davis S.F., Pyle P., Anderson S.D., Le Boeuf B.J. and Bloc B.A. (2002).** "Satellite tagging: Expanded niche for white sharks". *Nature*. 415: 35–36. doi:10.1038/415035b https://web.archive.org/web/20061003040121/http://www.toppensus.org/Upload/Publication_3/Expanded_Niche_White_Sharks.pdf
- 337 **San Francisco Chronicle (2018).** Mysterious great white shark lair discovered in Pacific Ocean. Peter Frimrite 16th September 2018. <https://www.sfchronicle.com/news/article/Mysterious-great-white-shark-lair-discovered-in-13234068.php>
- 338 **Roberts C.M., Hawkins J.P. and Gell F.R. (2005).** The role of marine reserves in achieving sustainable fisheries. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*. 2005 Jan 29; 360(1453): 123–132. Published online 2005 Jan 28. doi: [10.1098/rstb.2004.1578]
- 339 **Gjerde K.M. (2006).** High Seas Marine Protected Areas and Deep-Sea Fishing. Document was prepared for the Expert Consultation on Deep-sea Fisheries in the High Seas which took place in Bangkok, Thailand from 21–23 November 2006. <http://www.fao.org/tempref/docrep/fao/010/a1341e/a1341e02d.pdf>
- 340 **Boerder K., Bryndum-Buchholz A. and Worm B. (2017).** Interactions of tuna fisheries with the Galápagos marine reserve. December 2017 *Marine Ecology Progress Series* 585 DOI: 10.3354/meps12399
- 341 **White C. and Costello C. (2014).** Close the High Seas to Fishing? *PLoS Biol*. 2014 Mar; 12(3): e1001826. Published online 2014 Mar 25. doi: 10.1371/journal.pbio.1001826 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3965379/>

- 342 **Sumaila U. R., Lam V. W. Y., Miller D. D., Teh L., Watson R. A., Zeller D., Cheung W.W.L., Côté I.M., Rogers A.D., Roberts C.M., Sala E. and Pauly, D. (2015).** Winners and losers in a world where the high seas is closed to fishing. *Scientific Reports*, 5, 8481. <http://doi.org/10.1038/srep08481><https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5389130/>
- 343 **Sumaila U.R., Zeller D., Watson R., Alder J. and Pauly D. (2007).** Potential costs and benefits of marine reserves in the high seas. *Marine Ecology Progress Series*. Vol. 345: 305 – 310, 2007 doi:10.3354/meps07065
- 344 **Roberts C.M., O'Leary B.C., McCauley D., Cury P., Duarte C., Lubchenco J., Pauly D., Sáenz-Arroyo, A., Sumaila U.R., Wilson R., Worm B. and Castilla J.C. (2017).** Marine reserves can mitigate and promote adaptation to climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 114, no. 24. DOI: 10.1073/pnas.1701262114
- 345 **Hopkins C. R., Bailey D. M. and Potts T. (2016).** Perceptions of practitioners: Managing marine protected areas for climate change resilience. *Ocean & Coastal Management*, 128, 18-28. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2016.04.014
- 346 **Simard F., Laffoley D. and Baxter J.M. (editors) (2016).** *Marine Protected Areas and Climate Change: Adaptation and Mitigation Synergies, Opportunities and Challenges*. IUCN: Gland, Switzerland. 52 pp.
- 347 **Lewis N., Day J.C., Wilhelm 'A., Wagne, D., Gaymer C., Parks J., Friedlander A., White S., Sheppard C., Spalding M., San Martin G., Skeat A., Tai S., Teroroko, T. and Evans J. (2017).** Large-Scale Marine Protected Areas: Guidelines for design and management. *Best Practice Protected Area Guidelines Series*, No. 26, Gland, Switzerland: IUCN. xxviii + 120 ISBN: 978-2-8317-1880-4 (print version) DOI: <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2017.PAG.26.en>
- 348 **Laffoley D. d'A., Roe H.S.J., Angel M.V., Ardron J., Bates N.R., Boyd I.L., Brooke, S., Buck K.N., Carlson A., Causey B., Conte M.H., Christiansen S., Cleary J., Donnelly J., Earle S.A., Edwards R.I., Gjerde K.M., Giovannoni S.J., Gulick S., Gollock M., Hallett J., Halpin P., Hanel R., Hemphill A., Johnson R.J., Knap A.H., Lomas M.W., McKenna S.A., Miller M.J., Miller P.I., Ming F.W., Moffitt R., Nelson N.B., Parson L., Peters A.J., Pitt J., Rouja P., Roberts J., Roberts J., Seigel D.A., Siuda A.N.S., Steinberg D.K., Stevenson A., Sumaila V.R., Swartz W., Thorrold S., Trott T.M. and Vats V. (2011).** The protection and management of the Sargasso Sea: The golden floating rainforest of the Atlantic Ocean. *Summary Science and Supporting Evidence Case*. Sargasso Sea Alliance. 44pp
- 349 **Young H.S., Maxwell S.M., Connors M.G. and Shaffer S.A. (2015).** Pelagic marine protected areas protect foraging habitat for multiple breeding seabirds in the central Pacific. *Biological Conservation* Volume 181, January 2015, Pages 226-235 doi:10.1016/j.biocon.2014.10.027.
- 350 **O'Leary B.C., Ban N.C., Fernandez M., Friedlander A.M., García-Borboroglu P., Golbuu Y., Guidetti P., Harris J.M., Hawkins J.P., Langlois T., McCauley D.J. Pikitch E.K., Richmond R.H. and Roberts C.M. (2018).** Addressing Criticisms of Large-Scale Marine Protected Areas. *BioScience*, Volume 68, Issue 5, 1 May 2018, Pages 359–370, <https://doi.org/10.1093/biosci/biy021>
- 351 **Lewis N., Day J.C., Wilhelm 'A., Wagne, D., Gaymer C., Parks J., Friedlander A., White S., Sheppard C., Spalding M., San Martin G., Skeat A., Tai S., Teroroko, T. and Evans J. (2017).** Large-Scale Marine Protected Areas: Guidelines for design and management. *Best Practice Protected Area Guidelines Series*, No. 26, Gland, Switzerland: IUCN. xxviii + 120 ISBN: 978-2-8317-1880-4 (print version) DOI: <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2017.PAG.26.en>
- 352 **Edgar G.J., Stuart-Smith R.D., Willis T.J., Kininmonth S., Baker S.C., Banks S., Barrett N.S., Becerro M.A., Bernard A.T.F., Berkhout J., Buxton C.D., Campbell S.J., Cooper A.T., Davey M., Edgar S.C., Försterra G., Galván D.E., Irigoyen A.J., Kushner D.J., Moura R., Parnell P.E., Shears N.T., Soler G., Strain E.M.A. and Thomson R.J. (2014).** Global conservation outcomes depend on marine protected areas with five key features. *Nature* 506: pp 216–220 <https://doi.org/10.1038/nature13022>.
- 353 **Gill D.A., Mascia M.B., Ahmadiya G.N., Glew L., Lester S.E., Barnes M., Craigie I., Darling E.S., Free C.M., Geldmann J., Holst S., Jensen O.P., White A.T., Basurto X., Coad L., Gates R.D., Guannel G., Mumby P.J., Thomas H., Whitmee S., Woodley S. and Fox H.E. (2017).** Capacity shortfalls hinder the performance of marine protected areas globally. *Nature* volume 543, pages 665–669 (30 March 2017). <https://doi.org/10.1038/nature21708>
- 354 **O'Leary B.C., Ban N.C., Fernandez M., Friedlander A.M., García-Borboroglu P., Golbuu Y., Guidetti P., Harris J.M., Hawkins J.P., Langlois T., McCauley D.J. Pikitch E.K., Richmond R.H. and Roberts C.M. (2018).** Addressing Criticisms of Large-Scale Marine Protected Areas. *BioScience*, Volume 68, Issue 5, 1 May 2018, Pages 359–370, <https://doi.org/10.1093/biosci/biy021>
- 355 **Wedding L.M., Friedlander A., Kittinger J.N., Watling L., Gaines S.D., Bennett M., Hardy S.M. and Smith C.R. (2013).** From principles to practice: a spatial approach to systematic conservation planning in the deep sea. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2013. 280:20131684 DOI: 10.1098/rspb.2013.1684.
- 356 **IUCN (2016).** Motion 053 - Accroître l'étendue des aires marines protégées pour assurer l'efficacité de la conservation de la biodiversité. <https://portals.iucn.org/congress/fr/motion/053>
- 357 **Wilson E.O. (2016).** *Half-Earth: Our Planet's Fight for Life*. 2016: Liveright. 272.
- 358 **Garibaldi L. and Caddy J.F. (1998).** Biogeographic characterization of Mediterranean and Black Seas faunal provinces using GIS procedures. *Ocean & Coastal Management*, 1998. 39:211-227 DOI: 10.1016/S0964-5691(98)00008-8.
- 359 **Ball, I.R., Possingham H.P., and Watts M. (2009).** *Marxan and relatives: Software for spatial conservation prioritisation. Spatial conservation prioritisation: quantitative methods and computational tools*. 2009, Oxford: Oxford University Press.
- 360 **ibid**
- 361 **Kroodsmma, D.A., et al. (2018).** Tracking the global footprint of fisheries. *Science*, 2018. 359:904–908 DOI: 10.1126/science.aa05646.
- 362 **Wedding L.M. et al. (2013)** From principles to practice: a spatial approach to systematic conservation planning in the deep sea. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2013. 280:20131684. DOI: 10.1098/rspb.2013.1684
- 363 **O'Leary, B.C., et al.** Designing a marine protected area network to protect life on the high seas. *En cours de réalisation*.
- 364 **Freestone D., Laffoley D., Douvère F. and Badman T. (2016).** *Le patrimoine mondial en haute mer : une idée qui fait son chemin*. UNESCO / IUCN. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247098>
- 365 **Ban N.C., et al. (2014).** Systematic conservation planning: a better recipe for managing the high seas for biodiversity conservation and sustainable use. *Conservation Letters*, 2014. 7:41-54 DOI: 10.1111/conl.12010.
- 366 **Harrison A.-L., et al. (2018).** The political biogeography of migratory marine predators. *Nature Ecology & Evolution*, 2018. 2 Freestone, D., D. Laffoley, F. Douvère, and T. Badman. *World Heritage in the High Seas: An Idea Whose Time Has Come*. UNESCO World Heritage Reports 44. 2016. Available from: <https://whc.unesco.org/en/highseas>. [accessed 2 December 2018]:1571-1578 DOI: 10.1038/s41559-018-0646-8.
- 367 **Rogers, A.D. (2018).** Chapter 4 - The biology of seamounts: 25 years on. *Advances in Marine Biology*, 2018. 79:137-224 DOI: 10.1016/bs.amb.2018.06.001.
- 368 **Harfoot M.B.J., et al. (2018).** Present and future biodiversity risks from fossil fuel exploitation. *Conservation Letters*, 2018. 11:e12448 DOI: 10.1111/conl.12448.
- 369 **Schiller L., Bailey M., Jacquet J. and Sala E. (2018).** High seas fisheries play a negligible role in addressing global food security. *Science Advances*, 2018. 4:eaat8351 DOI: 10.1126/sciadv.aat8351.
- 370 **McCauley D.J., Jablonicky C., Allison E.H., Golden C.D., Joyce F.H., Mayorga J. and Kroodsmma D. (2018).** Wealthy countries dominate industrial fishing. *Science Advances*, 2018. 4:eaau2161 DOI: 10.1126/sciadv.aau2161.
- 371 **Sumaila, U.R., et al. (2015).** Winners and losers in a world where the high seas is closed to fishing. *Scientific Reports*, 2015. 5:8481 DOI: 10.1038/srep08481.
- 372 **White, C. and Costello C. (2014).** Close the high seas to fishing? *PLoS Biology*, 2014. 12:e1001826 DOI: 10.1371/journal.pbio.1001826.
- 373 **Cheung, W.W.L., Jones M., Lam V.W.Y., Miller D., Ota Y., Teh L. and Sumaila U.R. (2017).** Transform high seas management to build climate-resilience in marine seafood capacity. *Fish and Fisheries*, 2017. 18:254-263 DOI: <https://dx.doi.org/10.1111/faf.12177>
- 374 **Teh L.S.L., V.W.Y. Lam V.W.Y., Cheung W.W.L., Miller D., Teh L.C.L., and Sumaila U.R. (2016).** Impact of High Seas Closure on Food Security in Low Income Fish Dependent Countries. *PLoS ONE*, 2016. 11:e0168529 DOI: 10.1371/journal.pone.0168529.
- 375 **Roberts C.M. et al. (2017).** Marine reserves can mitigate and

- promote adaptation to climate change. PNAS, 2017. 114:6167-6175 DOI: 10.1073/pnas.1701262114.
- 376 **Day J.C. and Dobbs K. (2013).** Effective governance of a large and complex cross-jurisdictional marine protected area: Australia's Great Barrier Reef. Marine Policy, 2013. 41:14-24 DOI: 10.1016/j.marpol.2012.12.020.
- 377 **Freestone D., Laffoley D., Douvère F. and Badman T. (2016).** Le patrimoine mondial en haute mer : une idée qui fait son chemin. UNESCO / UICN. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247098>
- 378 **Gálvez-Larach M. (2009).** Seamounts of Nazca and Salas y Gómez: A review for management and conservation purposes. Latin American Journal of Aquatic Research, 2009. 37:479-500 DOI: 10.3856/vol37-issue3-fulltex-15.
- 379 **Hoegh-Guldberg, O. and Bruno J.F.(2010).** The impact of climate change on the world's marine ecosystems. Science, 2010. 328:1523-1528 DOI: 10.1126/science.1189930
- 380 **GIEC (2014).** Changements climatiques 2013. Les éléments scientifiques. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGIAR5_SPM_brochure_fr.pdf
- 381 **Green, A.L., et al. (2014).** Designing marine reserves for fisheries management, biodiversity conservation, and climate change adaptation. Coastal Management, 2014. 42:143-159 DOI: 10.1080/08920753.2014.877763.
- 382 **Saura, S., Bodin Ö., and Fortin M.J.(2014).** Stepping stones are crucial for species' long-distance dispersal and range expansion through habitat networks. Journal of Animal Ecology, 2014. 51:171-182 DOI: 10.1111/1365-2664.12179.
- 383 **Jones K.R., Watson J.E.M., Possingham H.P. and Klein C.(2016).** Incorporating climate change into spatial conservation prioritisation: A review. Biological Conservation, 2016. 194:121-130 DOI: 10.1016/j.biocon.2015.12.008.
- 384 **Safaie A., et al. (2018).** High frequency temperature variability reduces the risk of coral bleaching. Nature Communications, 2018. 9:1671 DOI: 10.1038/s41467-018-04074-2.
- 385 **Kavousi J. and Keppel G. (2018).** Clarifying the concept of climate change refugia for coral reefs. ICES Journal of Marine Science, 2018. 75:43-49 DOI: 10.1093/icesjms/fsx124.
- 386 **Dunn, D.C., et al. (2018).** Empowering high seas governance with satellite vessel tracking data. Fish and Fisheries, 2018. 19:729-739 DOI: 10.1111/faf.12285.
- 387 **Rowlands G., Brown J., Soule B., Boluda P.T., and Rogers A.D.** Satellite surveillance of the Ascension Island Exclusive Economic Zone and Marine Protected Area. Marine Policy, *en cours d'impression*.
- 388 **Freestone D. (2018).** The Limits of Sectoral and Regional Efforts to Designate High Seas Marine Protected Areas. American Journal of International Law, 2018. 112:129-133 DOI: 10.1017/aju.2018.45.
- 389 **Mazor, T., Possingham H.P., and Kark S. (2013).** Collaboration among countries in marine conservation can achieve substantial efficiencies. Diversity and Distributions, 2013. 19:1380-1393 DOI: 10.1111/ddi.12095.
- 390 **Kark S., Levin N., Grantham H.S., and Possingham H.P. (2009).** Between-country collaboration and consideration of costs increase conservation planning efficiency in the Mediterranean Basin. PNAS, 2009. 106:15368-15373 DOI: 10.1073/pnas.0901001106.



30X30

FEUILLE DE ROUTE POUR LA PROTECTION DES OCÉANS

Comment protéger **30%**
des océans d'ici à **2030**

La haute mer forme un vaste patrimoine mondial qui représente 61% de la surface des océans et 73% de son volume, et qui ne couvre pas moins de 43% de la surface du globe et 70% de l'espace vital, terres et mers comprises. Du fait de la vie marine extrêmement riche et des écosystèmes qu'elles abritent, ainsi que de l'immensité de leurs espaces, ces eaux internationales jouent un rôle vital pour l'équilibre de notre planète. Au cours des dernières décennies, toutefois, cette richesse exceptionnelle a diminué comme peau de chagrin sous l'impact croissant des différentes activités humaines. Un constat qui mène aujourd'hui les Nations unies à déployer des efforts sans précédent afin de renforcer les mesures de protection de la haute mer et d'en revoir la gestion.

La création de réserves marines est donc fondamentale si nous voulons protéger les habitats et les espèces, restaurer la biodiversité des océans, aider les écosystèmes marins à se régénérer et ainsi préserver les biens et services qu'ils fournissent. Ce rapport montre qu'il est tout à fait possible de créer un réseau mondial d'aires marines protégées représentatif sur le plan écologique pour répondre à la crise actuelle à laquelle nos océans doivent faire face et permettre leur restauration. Ce besoin est impérieux et les moyens pour agir d'ores et déjà disponibles. La réalisation de ce projet ne dépend donc que de la volonté politique.

Avril 2019

www.greenpeace.org/30x30

Greenpeace France
13 rue d'Enghien
75010 Paris
Ne pas jeter sur la voie publique.

