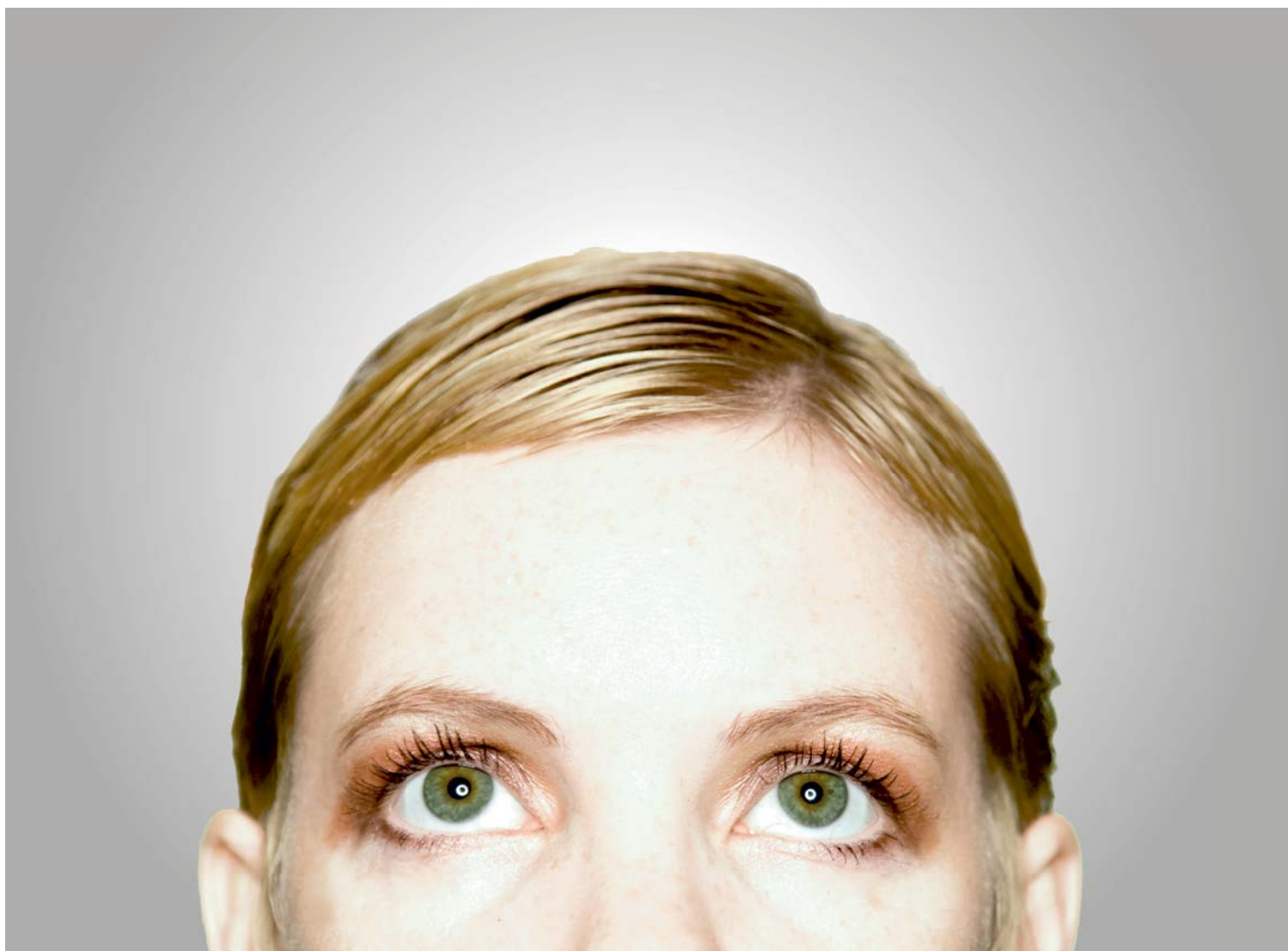




AcademiaNet offre un service unique aux instituts de recherche, aux journalistes et aux organisateurs de conférences qui recherchent des femmes d'exception dont l'expérience et les capacités de management complètent les compétences et la culture scientifique.

AcademiaNet, base de données regroupant toutes les femmes scientifiques d'exception, offre:

- :: Le profil des femmes scientifiques les plus qualifiées dans chaque discipline – et distinguées par des organisations de scientifiques ou des associations d'industriels renommées
- :: Des moteurs de recherche adaptés à des requêtes par discipline ou par domaine d'expertise
- :: Des reportages réguliers sur le thème »Women in Science«

Robert Bosch **Stiftung**

Spektrum
DER WISSENSCHAFT

nature

POUR LA
SCIENCE

Une initiative de la Fondation Robert Bosch en association avec
Spektrum der Wissenschaft et Nature Publishing Group

www.academia-net.org

www.pourlascience.fr

170 bis boulevard du Montparnasse – 75014 Paris
Tél. 01 55 42 84 00

GROUPE POUR LA SCIENCE

Directrice des rédactions: Cécile Lestienne

HORS-SÉRIE POUR LA SCIENCE

Rédacteur en chef adjoint: Loïc Mangin

Maquettiste: Ghislaine Salmon-Legagneur

Révisseuses: Maud Bruguère, Chantal Ducoux,
Anne-Rozenn Jouble

POUR LA SCIENCE

Rédacteur en chef: Maurice Mashaal

Rédactrice en chef adjointe: Marie-Neige Cordonnier

Rédacteurs: François Savatier, Sean Bailly

Développement numérique: Philippe Ribeau-Gésippe

Community manager: Aëla Keryhuel

Conception graphique: William Londiche

Directrice artistique: Céline Lapert

Maquette: Pauline Bilbault, Raphaël Queruel,
Ingrid Leroy

Révisseuse: Anne-Rozenn Jouble

Marketing & diffusion: Arthur Peys

Direction du personnel: Olivia Le Prévost

Secrétariat général: Nicolas Bréon

Fabrication: Marianne Sigogne et Olivier Lacam

Directeur de la publication et gérant: Frédéric Mériot

Anciens directeurs de la rédaction: Françoise Pétry
et Philippe Boulanger

Conseiller scientifique: Hervé This

A également participé à ce numéro:
William Rowe-Pirra

PRESSE ET COMMUNICATION

Susan Mackie
susan.mackie@pourlascience.fr • Tél. 01 55 42 85 05

PUBLICITÉ France

stephanie.jullien@pourlascience.fr

ABONNEMENTS

Abonnement en ligne: <http://boutique.pourlascience.fr>

Courriel: pourlascience@abopress.fr

Tél.: 03 67 07 98 17

Adresse postale: Service des abonnements
Pour la Science – 19 rue de l'Industrie – BP 90053
67402 Illkirch Cedex

Tarifs d'abonnement 1 an (16 numéros)

France métropolitaine: 79 euros – Europe: 95 euros

Reste du monde: 114 euros

DIFFUSION

Contact kiosques: À Juste Titres ; Stéphanie Troyard

Tél. 04 88 15 12 48

Information/modification de service/réassort:

www.direct-editeurs.fr

SCIENTIFIC AMERICAN

Editor in chief: Mariette DiChristina

President: Dean Sanderson

Executive Vice President: Michael Florek

Toutes demandes d'autorisation de reproduire, pour le public français ou francophone, les textes, les photos, les dessins ou les documents contenus dans la revue « Pour la Science », dans la revue « Scientific American », dans les livres édités par « Pour la Science » doivent être adressés par écrit à « Pour la Science S.A.R.L. », 162 rue du Faubourg Saint-Denis, 75010 Paris.

© Pour la Science S.A.R.L. Tous droits de reproduction, de traduction, d'adaptation et de représentation réservés pour tous les pays. La marque et le nom commercial « Scientific American » sont la propriété de Scientific American, Inc. Licence accordée à « Pour la Science S.A.R.L. ».

En application de la loi du 11 mars 1957, il est interdit de reproduire intégralement ou partiellement la présente revue sans autorisation de l'éditeur ou du Centre français de l'exploitation du droit de copie (20 rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).

Origine du papier: Italie

Taux de fibres recyclées: 0%

« Eutrophisation » ou « Impact sur l'eau »: Ptot 0.008kg/tonne

Ce produit est issu de forêts gérées durablement et de sources contrôlées.



10-32-2813

/ Certifié PEFC / pefc-france.org

ÉDITORIAL



LOÏC MANGIN
Rédacteur
en chef adjoint

La vie devant soi. Vraiment ?

« **C**e qui se passe dans nos mers est pire que la peste au Moyen Âge », se désespérait en 1974 Romain Gary, dont l'œuvre vient d'entrer dans *La Pléiade*. « Il a fallu à la vie plus de cent millions d'années pour produire la tortue de mer géante, la baleine et le phoque moine. Il nous a suffi de trois générations pour en arriver à un point où la disparition totale paraît presque inévitable. »

Quelque trente-cinq ans plus tard, où en est-on ? Les océans restent un territoire aussi vaste qu'inconnu et dont l'exploration n'en est qu'à ses balbutiements. Pour aller de l'avant, le 11 juin 2019 à Paris, les plus grands experts européens de l'océan (Ifremer, CNRS, Sorbonne Université...) ont publié *Navigating the Future V*, un document de référence destiné à guider les gouvernements européens sur les recherches océaniques et maritimes à mener jusqu'en 2030 et au-delà.

Et chaque domaine de recherche défini dans cet état des lieux de la science nécessaire inclut une part importante dédiée à la préservation, la protection et même la restauration du milieu marin déjà si menacé par le réchauffement climatique, la pollution, la surexploitation... Et le temps presse.

Dans la préface à l'édition de 1980 des *Racines du ciel*, prix Goncourt en 1956 (son premier), Romain Gary confiait que « les hommes ont toujours donné le meilleur d'eux-mêmes pour conserver une certaine beauté à la vie. Une certaine beauté naturelle... » Entre science, découverte et protection, plusieurs articles de ce *Hors-Série* abondent en son sens et font apparaître, pour les océans... la promesse d'une nouvelle aube.

SOMMAIRE

POUR LA
SCIENCE
HORS-SÉRIE

N° 104

Août-septembre 2019

Océans

LE DERNIER CONTINENT À EXPLORER

Constituez
votre collection
de *Hors-Séries*
Pour la science
Tous les numéros
depuis 1996

pourlascience.fr



En couverture :

© Harvepino / shutterstock.com

P. 6 Repères

L'indispensable pour apprécier ce numéro.

P. 8 Avant-propos **BRUNO DAVID**

« Seuls quatre hommes
ont plongé à plus de
10 000 mètres de profondeur,
douze sont allés sur la Lune »



MER ET MERVEILLES

P. 14

Les coraux venus du froid

André Freiwald

Contre toute attente, des coraux vivent dans
les profondeurs et jusqu'aux latitudes polaires.

P. 22

Des roses tapies au fond des mers

Nadine Le Bris

Les sites hydrothermaux sont des havres
pour une multitude d'organismes.

P. 28 Entretien

« Plusieurs milliers d'espèces de plancton repérées par *Tara Oceans* sont inconnues »

Éric Karsenti

P. 32 Portfolio

Autant en emporte l'océan

Parmi le plancton se cachent des bijoux,
des chefs-d'œuvre d'orfèvrerie miniatures.

P. 36

Les virus, piliers de la vie marine

Stéphan Jacquet et Caroline Depecker

Abondants et variés, les virus aquatiques
sont des acteurs clés des écosystèmes marins.

P. 44

Les bactéries qui aimaient le plastique

Elizabeth Svoboda

Maria-Luiza Pedrotti explore le monde inconnu
des bactéries mangeuses de plastique.



VEILLER AU GRAIN

P. 52

Des pouponnières pour le corail

Rebecca Albright

Le réchauffement océanique menace les coraux. Peut-on les sauver en les cultivant?

P. 60

La haute mer, terre de découvertes

Romain Troublé

L'exploration scientifique de la haute mer est un enjeu écologique planétaire!

P. 64

L'océan Austral, un modèle?

Robert Calcagno

L'océan Austral bénéficie d'un mode de gestion original. Renforçons-le!

P. 68

Des aires protégées ou désert marin?

Hélène Le Meur

Préserver la biodiversité marine et respecter les impératifs socioéconomiques: c'est possible!

P. 70 *Portfolio*

La mer, un coffre aux trésors

Toutes les solutions apportées à l'humanité par l'océan: médecine, nourriture, matériaux...

P. 74

Au chevet des tortues marines

Robert Calcagno

À l'avenir, quelle place pourrons-nous laisser aux tortues marines, et comment?



AVIS DE TEMPÊTE

P. 82

L'invasion des méduses

Corinne Bussi-Copin et Jacqueline Goy

Rien ne semble enrayer l'essor des méduses, si fragiles et rudimentaires, en apparence.

P. 90 *En images*

Et pourtant, elle monte

Où s'arrêtera la hausse du niveau marin?

P. 92

Les fonds des océans font grise mine

Thomas Peacock et Matthew Alford

L'exploitation des métaux des grands fonds serait néfaste. Peut-on limiter les dégâts?

P. 100

À bout de souffle

Clarissa Karthäuser, Andreas Oschlies et Christiane Schelten

Dans les océans, d'immenses zones appauvries en oxygène s'étendent. Pourquoi?

P. 108

À lire en plus



RENDEZ-VOUS

par Loïc Mangin

P. 110

Rebondissements

L'énigme de la capsule temporelle est résolue! • Pastèque et musique nigériane • Le World Wood Wide Web • Alzheimer: la maladie à deux prions •

P. 114

Données à voir

Prendre le train, prendre le temps

P. 116

Les incontournables

Des livres, des expositions, des sites internet, des vidéos, des podcasts... à ne pas manquer.

P. 118

Spécimen

Le goéland, un serial killer!

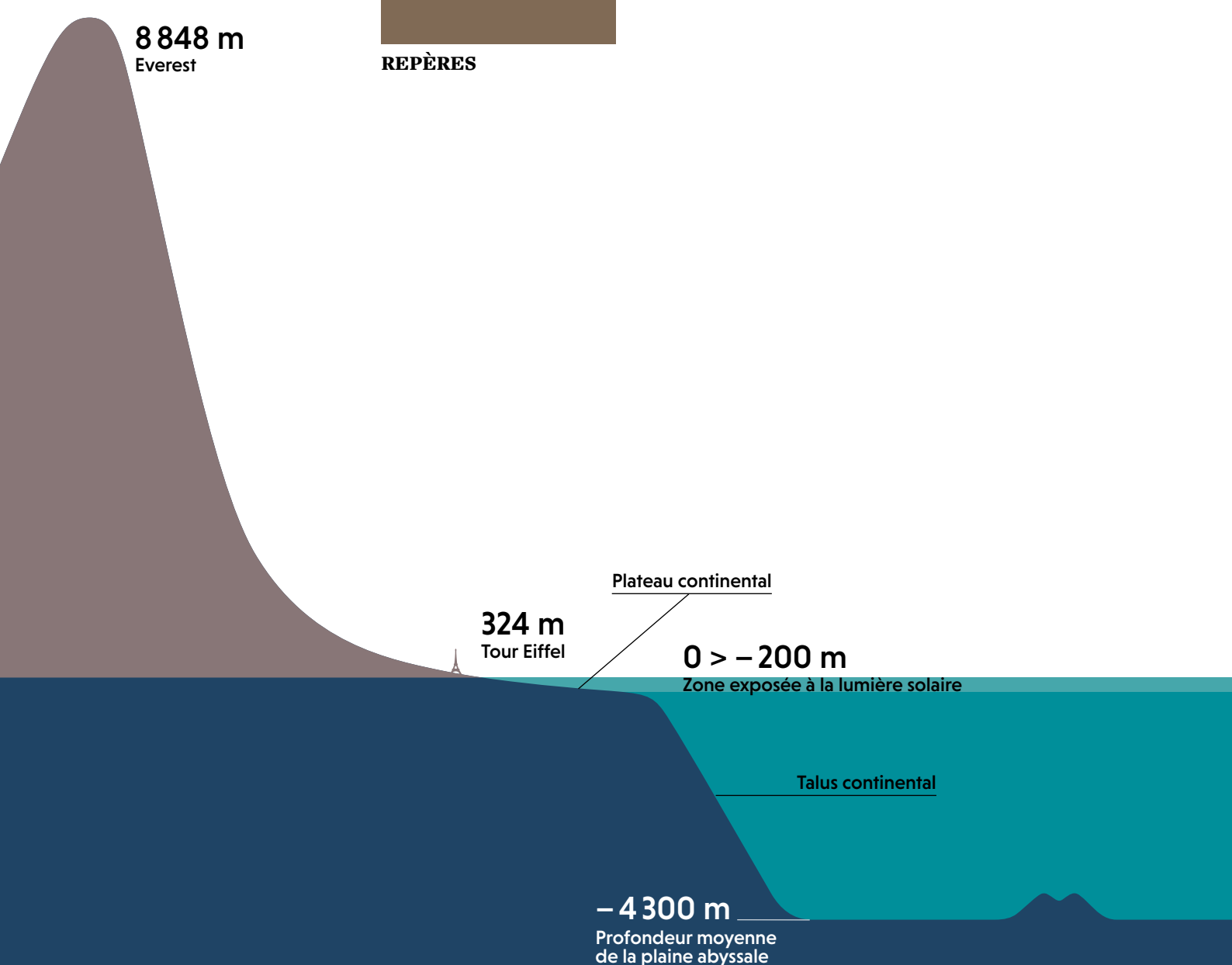
P. 120

Art & Science

En sphère et contre tout

8 848 m
Everest

REPÈRES



Les plaines abyssales

Avec environ 307 millions de kilomètres carrés, elles représentent l'essentiel des fonds marins. Plates, elles s'étendent entre 4 000 et 6 000 mètres de profondeur. Ces plaines sont recouvertes de sédiments et de « neige marine », celle-ci étant constituée de squelettes d'organismes, de déjections, de poussières... agglomérées en « flocons ». On trouve également des nodules polymétalliques. Longtemps supposés peu propices à la vie, on y a découvert des espèces vivantes dans les années 1970. La vie y est néanmoins clairsemée, avec des espèces de petite taille.

Les dorsales océaniques

Ces chaînes de montagnes sous-marines marquent la frontière entre deux plaques tectoniques. Elles se rencontrent dans tous les bassins océaniques. Le réseau de ces dorsales est continu et s'étend sur plus de 60 000 kilomètres. Elles sont constituées du magma qui remonte du manteau terrestre à cet endroit. Les sources hydrothermales – et leurs écosystèmes si particuliers – sont essentiellement réparties le long de ces dorsales.

Paré à plonger !

Avec environ 361 millions de kilomètres carrés, les océans couvrent 71% de la surface terrestre. Plus encore, ils représentent 96% du volume biosphérique, c'est-à-dire dédié à la vie. De fait, avec une profondeur moyenne de quelque 3700 mètres, les océans sont surtout un volume gigantesque, de plus de 1,37 milliard de kilomètres cubes.

La vie s'y étend dans toutes les dimensions et s'est installée partout, ou presque, dans la

colonne d'eau et sur les fonds marins, du plateau continental jusqu'à la fosse des Mariannes. L'océan abrite de 50 à 80%, selon les estimations, des espèces vivantes.

Il régule également à plus de 80% le climat de la Terre.

Si grand, si omniprésent, et pourtant, l'océan demeure pour une grande part encore inconnu. Il est temps de s'immerger pour partir à sa découverte! ■

Les monts sous-marins

Ces reliefs souvent assez abrupts s'élèvent brusquement au-dessus des plaines abyssales, jusqu'à parfois 4 000 mètres de hauteur. Environ 100 000 monts sous-marins sont répertoriés, mais seuls quelques-uns (environ 1%) ont été étudiés *in situ*. Ces monts sont souvent d'anciens volcans éteints, ou bien nés des mouvements des plaques tectoniques. Chaque mont, ou chaîne de monts, constitue un *hot spot* de biodiversité réunissant de nombreuses espèces uniques qui ne se sont développées nulle part ailleurs.

Les fosses océaniques

Ces dépressions océaniques sont souvent situées dans les zones de subduction (là où une plaque tectonique passe sous une autre). On en trouve également dans les zones où deux plaques océaniques s'éloignent l'une de l'autre. La fosse la plus profonde connue est celle des Mariannes, dans la partie nord-ouest de l'océan Pacifique. Selon les derniers relevés, toujours difficiles à réaliser, la profondeur atteindrait 10 971 mètres. En mai 2019, l'Américain Victor Vescovo a plongé dans la fosse jusqu'à 10 928 mètres de profondeur. Au fond des fosses, malgré des pressions atteignant 1100 atmosphères, vivaient des organismes dits « piézophiles », c'est-à-dire inféodés aux pressions hyperbares.

– 11 000 m
La fosse des Mariannes

BRUNO DAVID



« Seuls quatre hommes ont plongé à plus de 10 000 mètres de profondeur, douze sont allés sur la Lune »

On dit que l'on connaît moins les océans que la Lune : qu'en est-il vraiment ?

Bruno David : Effectivement, même si bien sûr on connaît assez bien les zones proches des continents, l'humanité n'a exploré qu'une toute petite partie des profondeurs océaniques. Paradoxalement, on a une idée moins précise de ce à quoi ressemblent les profondeurs océaniques que certaines planètes. En nombre d'individus, seuls quatre (Jacques Piccard, Don Walsh, James Cameron et tout récemment Victor Vescovo) ont plongé à plus de 10 000 mètres de profondeur, dans la fosse des Mariannes, l'endroit le plus profond du monde (10 971 mètres), alors que douze hommes sont allés sur la Lune.

Même du simple point de vue de la cartographie, le fond des océans est mal connu, et il peut même réserver des surprises. Ce fut le cas en 2013, lors de ma dernière grande mission avant d'être nommé président du Muséum. Nous

BIO EXPRESS

1954
Naissance à Lyon.

1979
Thèse sur les échinides (oursins) du Crétacé inférieur.

1996
Directeur du laboratoire de Paléontologie du CNRS à Dijon, devenu Biogéosciences.

2011
Directeur adjoint scientifique de l'Institut écologie et environnement du CNRS, en charge de la biodiversité.

2015
Président du Muséum national d'histoire naturelle.

étions dans l'océan Austral quand, un matin, au réveil, l'équipage nous apprend que le navire aurait pu couler durant la nuit ! En pleine mer de Weddell, en Antarctique, nous aurions tous péri. Le bateau était passé au-dessus d'un mont sous-marin inconnu, non répertorié, d'environ un kilomètre de long et qui culminait à 20 mètres seulement de profondeur. Tout autour, les fonds atteignaient 500 mètres. Nous avons trouvé une taupinière dans la Beauce !

Avec nos 12 mètres de tirant d'eau, huit mètres de plus, et la situation aurait pu être dramatique. Nous en avons profité pour l'explorer, le cartographier et le baptiser *Nachtigaller*, c'est-à-dire *Rossignol* en allemand (la nationalité du navire) en référence à un personnage de roman.

Cette anecdote montre bien que l'on est loin de tout savoir sur la topographie des fonds océaniques. Même à faible profondeur, il reste encore des choses à découvrir.

Et l'espace n'est d'aucun secours ?

Bruno David : Non, les satellites ne renseignent que sur la surface. L'exploration des fonds marins et leur cartographie nécessitent un bateau équipé d'un sonar. Toutes nos informations proviennent de navires qui ont sillonné les mers. En certains endroits reculés, les données sont parfois imprécises et ce que l'on pense être une plaine abyssale homogène ne l'est pas. Il y a encore des *mare incognita*.

Comment expliquer cet écart de connaissances entre la Lune et les fonds marins ?

Bruno David : Les océans paraissent proches, mais paradoxalement, il est très difficile d'aller dans l'eau. Nous ne sommes pas faits pour. C'est aussi le cas de l'espace, mais nous avons probablement alloué plus de moyens pour y aller, que pour explorer le fond des mers. Cet écart devrait diminuer dans les prochaines années, notamment grâce à des engins automatisés. Mais le plancher océanique reste un environnement très hostile, ne serait-ce qu'en termes de pression.

Peut-on un jour trouver un endroit plus profond encore que les Mariannes ?

Bruno David : Extrêmement improbable, car nous savons où trouver les très grandes profondeurs. Nous sommes attirés par les extrêmes, que ce soit les plus hauts sommets montagneux ou les endroits les plus profonds. De fait, ces fosses ont été découvertes très tôt, par exemple celle des Caïmans (plus de 7000 mètres de profondeur), en 1873. Et désormais, nous savons que les fosses sont au niveau des zones de subduction, où une plaque tectonique plonge sous une autre. En connaissant le mécanisme de fabrication, on a su où chercher, même si les plus grandes profondeurs avaient déjà été repérées.

Le paysage sous-marin évolue, mais à une vitesse géologique. Rendez-vous dans 500 000 ans pour peut-être voir le record des Mariannes battu. On peut aussi prendre date pour la fermeture de la Méditerranée. Cette mer est l'héritière d'un immense océan, la Téthys, qui rétrécit inexorablement. D'ailleurs, au sud de la Grèce, en Crète, on voit bien la suture de la subduction avec l'Afrique. La Méditerranée va devenir un lac puis éventuellement s'évaporer.

À l'inverse, un océan est peut-être en train de naître en Afrique de l'Est, où l'on observe une zone de divergence, un rift, qui préfigure un océan. Difficile néanmoins d'être catégorique, car on connaît des

exemples de rifts qui ont avorté. Ainsi, l'Alsace est un rift, entre la Forêt-Noire et les Vosges, qui s'est ouvert l'Oligocène, il y a 40 millions d'années. Puis il s'est arrêté... Strasbourg aurait pu être sous l'eau.

Peut-on tenter d'établir une carte d'identité des océans ?

Bruno David : Ils représentent 71 % de la surface de la Terre, c'est connu. Ils constituent également 96 % du volume biosphérique, c'est-à-dire offert à la vie. Sur les continents, la vie n'occupe qu'une pellicule à la surface, au niveau des sols, et dans les airs, où volent les oiseaux. En revanche, dans les océans, on trouve de la vie dans toute la colonne d'eau. Ce volume biosphérique correspond au final à une enveloppe de 3700 mètres d'épaisseur moyenne sur 71 % de la planète.

Autre aspect intéressant, les océans sont orientés selon un axe nord-sud. Ce ne fut pas toujours le cas ! La Téthys dont nous avons parlé était orientée est-ouest. Et ça change tout, notamment en termes de biodiversité. Ainsi, pour le corail, nous avons aujourd'hui des récifs dans les différents océans qui sont autant de zones indépendantes pour leur évolution. En revanche, dans la Téthys, la ceinture climatique tropicale était d'un seul tenant. La structuration spatiale du vivant était plus homogène.

Quels sont les grands jalons de l'exploration des océans ?

Bruno David : Pendant des siècles, elle s'est résumée à... rien. La pression hydrostatique liée à la colonne d'eau empêche de respirer, même *via* un tuba, au-delà d'un mètre de profondeur : les muscles respiratoires deviennent inopérants. On peut bien injecter de l'air sous pression (ce que font les Dupond & Dupont dans *Tintin et le trésor de Rackam le rouge*) pour contrer la pression, mais on est vite limité.

L'avancée majeure est le scaphandre autonome, mis au point dans sa forme actuelle par Jacques-Yves Cousteau et Émile Gagnan en 1943. Dès lors, on pouvait

descendre jusqu'à 50 mètres de profondeur. Une vraie liberté !

Toutefois, dès le XIX^e siècle, de grandes expéditions océanographiques ont commencé à révéler les secrets des fonds marins grâce à des dragues, des chaluts... L'histoire du britannique Edward Forbes mérite d'être rappelée. En mer Égée, il constate que la vie se raréfie avec la profondeur et propose donc, en 1843, qu'il n'y a plus de vie au-delà de 500 mètres. Pourtant, 10 ans plus tard, le câble télégraphique reliant la Sardaigne à l'Afrique du Nord se rompt. Il est remonté et l'on y découvre des organismes fixés qui vivaient à quelque 2000 mètres de profondeur.

Les Anglais piqués au vif – nous sommes à l'époque du grand empire britannique de la reine Victoria – diligent les premiers vrais bateaux océanographiques, d'abord de petits vaisseaux, comme la corvette *Lightning* (*L'Éclair*) puis d'imposants navires militaires désarmés et réaménagés. L'un d'eux, le *Challenger* effectue le premier tour du monde et découvre la vie à 7000 mètres de profondeur dans les Caïmans. On se rend compte que la vie est partout. Viennent ensuite les expéditions d'Albert 1^{er} de Monaco. Tous les pays s'y mettent, chacun arme ses bateaux dédiés. On assiste à une sorte de compétition de connaissances, mais aussi pour l'appropriation de nouveaux territoires. L'affaire prend un tour politique. Finalement, c'est un peu comme pour la conquête de l'espace.

Le mouvement prend de l'ampleur jusqu'à la Première Guerre mondiale, ralentit, puis redémarre avec force après la Seconde Guerre mondiale, avec notamment tous les sous-marins d'exploration.

Où en est-on aujourd'hui ?

Bruno David : Beaucoup d'efforts portent notamment sur l'océan Austral qui reste mal connu. Plusieurs pays l'explorent, comme l'Angleterre, l'Australie, le Japon... Les Allemands sont parmi les mieux équipés, avec le *Polarstern*, un bateau extraordinaire sur lequel j'ai eu la chance d'embarquer. ➤

> La France est quant à elle peu présente dans cette zone, car dépourvue de bateau dédié. Elle est en revanche bien armée pour le subantarctique, à l'écart des glaces. On peut citer les installations aux Kerguelen, à Crozet... ainsi que les nombreuses expéditions du *Marion Dufresne*. Nous disposons également de bases en Antarctique où des scientifiques invités peuvent faire de la glaciologie, de l'ornithologie...

En dehors de l'Antarctique, la flotte océanographique française (la FOF), entretenue et mise à la disposition de la communauté scientifique par l'Ifremer est fantastique, et puis le *Nautilus* est un sous-marin exceptionnel. Peu de pays ont de tels engins qui descendent aussi profond (jusqu'à 6000 mètres). Certains voudraient l'arrêter. Je crois que c'est une erreur.

Quelle est la place de *Tara* dans ce dispositif ?

Bruno David : Il s'agit d'une initiative privée qui arme un bateau beaucoup plus modeste. On ne peut pas comparer l'*Atalante*, qui met en œuvre le *Nautilus*, de 85 mètres de longueur, avec une goélette de 20 mètres. Les moyens engagés ne sont pas les mêmes. Ceci étant dit, les résultats scientifiques de *Tara* sont remarquables. Il n'y a pas concurrence, mais complémentarité.

Un de leurs faits d'armes est la découverte d'environ 1,5 million d'espèces lors de leur circumnavigation. On sait que ce sont des espèces différentes, mais on ne les a pas encore décrites. La grande surprise est qu'il y a énormément d'eucaryotes unicellulaires, qui sont certes microscopiques, mais assez complexes, à l'image des paramecies en domaine continental.

Avant, on avait décrit 300000 espèces océaniques. Et *Tara* en dévoile cinq fois plus, de totalement inconnues ! Première conclusion, on ne sait absolument pas comment fonctionne l'océan en termes de chaînes alimentaires ! *Tara* a révélé notre ignorance.

Au Muséum, vous vous préoccupez également de la biodiversité marine ?

Bruno David : Oui. Dans le cadre de *La Planète revisitée*, nous organisons des expéditions importantes qui balaient à la fois la partie continentale et la partie marine de certains endroits de la planète de façon à avoir une vision complète du continuum terre-mer. Nous explorons du sommet d'une montagne jusqu'à 1000 mètres de profondeur et tentons de dresser un inventaire global de la biodiversité.

Cette approche exhaustive, en lien direct avec les missions du Muséum de collection et d'archivage, aide à construire un référentiel, un T_0 d'un système pour un endroit donné particulièrement sensible ou intéressant. L'exploration du nord de la Nouvelle-Calédonie est en cours, celle de la Corse va bientôt démarrer, et il y eut le Mozambique, la Papouasie, la Guyane, et la première, l'île Espiritu Santo du Vanuatu...

Abordons maintenant les menaces qui pèsent sur les océans. L'une d'elles est l'exploitation des ressources minières. Qu'en pensez-vous ?

Bruno David : On trouve au fond des océans, en différents endroits, des ressources assez rares comme du palladium, du cadmium, des sulfures... tout ce qui sert à faire des téléphones portables. La tentation est donc grande d'aller les chercher. Ce serait dramatique, particulièrement aux niveaux des monts sous-marins et des

comme celui de Humboldt le long de l'Amérique du Sud, des remontées d'eau froide (les *upwellings*) dont profitent les poissons et donc les pêcheries, des courants chauds comme le Gulf Stream qui baigne les côtes européennes et rend le climat tempéré de ce côté-ci de l'Atlantique.

Un grand tapis roulant, ramifié, parcourt ainsi tous les océans : une goutte d'eau met environ 1000 ans à en faire le tour. C'est dire l'inertie du système ! Un retour à l'équilibre après une perturbation nécessiterait des siècles. Et l'on n'est pas sûr de retrouver la situation d'avant le bouleversement.

Le système actuel est-il menacé ?

Bruno David : Difficile de répondre. On a beaucoup entendu parler de la fonte de la calotte groenlandaise qui apporterait beaucoup d'eau douce dans l'Atlantique Nord et qui pourrait stopper le Gulf Stream, synonyme de refroidissement de l'Europe. Quoi

Nous jouons aux apprentis sorciers sur des systèmes gigantesques à inertie considérable

sources hydrothermales, parce qu'on détruirait des écosystèmes extrêmement rares, plus diversifiés qu'on ne le pense. Nous devons nous fixer des limites. L'équivalent serait de ravager les oasis du Sahara !

L'exploitation des nodules polymétalliques est moins dramatique. Elle posera bien sûr des problèmes, notamment de turbidité, mais les nodules s'étalant sur de grandes plaines abyssales assez homogènes, par exemple autour de Clipperton, les conséquences de leur prélèvement seraient moins irréversibles.

Le changement climatique fait également peser plusieurs risques.

Bruno David : L'un d'eux porte sur le régime de courants océaniques et la circulation thermohaline. Les variations de concentration en sel et de température, aidées par la force de Coriolis liée à la rotation de la Terre, mettent en mouvement l'eau. Il en résulte des courants froids

qu'il en soit dans le détail, nous jouons aux apprentis sorciers sur des systèmes gigantesques à inertie considérable.

La fonte des glaces et le réchauffement climatique (par la dilation des océans) sont également les facteurs essentiels de hausse du niveau marin. Si toute la calotte antarctique fondait, la hausse pourrait atteindre plusieurs dizaines de mètres...

Le réchauffement influe aussi sur l'acidification des organismes ?

Bruno David : Effectivement, l'augmentation de la quantité de CO_2 atmosphérique se traduit par celle du CO_2 dissous dans les eaux océaniques. En conséquence, le pH de l'océan est passé de 8,18 à 8,05. C'est assez considérable, car le pH suit une échelle logarithmique. Une telle baisse nuit à un certain nombre d'organismes, notamment ceux ayant besoin à un moment ou un autre de leur existence d'un squelette calcaire.

J'ai étudié par exemple en 2014 l'impact de l'acidification sur les larves d'oursins en Antarctique, en collaboration avec des collègues belges. Les perturbations du métabolisme se traduisent par des changements dans l'allocation des ressources aux différents besoins: respirer, se reproduire... et donc construire un squelette.

L'acidification pose des problèmes de survie à long terme à divers types d'organismes (diatomées, foraminifères...) Précisons néanmoins qu'il y a une importante marge d'erreur, car on ignore tout des capacités d'acclimatation de ces espèces.

Un autre problème, cette fois indépendant du réchauffement, concerne les déplacements de faunes.

Bruno David : On parle ici d'espèces potentiellement invasives, transportées d'un endroit à l'autre par les eaux de ballast des bateaux. L'exemple emblématique est *Asterias amurensis*, une étoile de mer japonaise qui a été «importée» en Australie où elle a retrouvé les conditions tempérées auxquelles elle n'aurait jamais eu accès parce qu'il fallait passer la ceinture tropicale et équatoriale. En quelques années, des millions d'individus se sont développés dans la rade de Melbourne et ont tout détruit, les parcs ostréicoles, mytilicoles...

Les tentatives de les enlever à la main ont échoué. Mary Byrne, une collègue australienne a été sollicitée pour analyser la période de reproduction de cette étoile de mer. L'idée était d'empêcher le transport des larves dans d'autres endroits en interdisant la navigation pendant cette période.

C'est un pis-aller. La bataille est perdue, sauf à espérer une autorégulation sur le long terme, du type de celle qui a sauvé la Méditerranée de l'algue *Caulerpa taxifolia*. Elle est en train de disparaître naturellement, l'arrachage n'y est que pour peu de chose.

Autre danger, la pollution. Que peut-on en dire ?

Bruno David : Jusqu'à présent, elle était plutôt synonyme de marées noires. Gardons d'ailleurs en tête que les tristes expériences en Bretagne de l'*Amoco Cadiz*, du *Torrey Canyon*... ont montré que l'écosystème retrouve son état initial en seulement 10 ans. Bien sûr, le bilan est catastrophique, et nous avons tous en tête les images d'oiseaux mazoutés. Mais l'écosystème est très résilient et est capable de se reconstituer rapidement si on lui en laisse la possibilité. On l'a encore constaté récemment avec la fuite de la plateforme *Deepwater Horizon*, dans le

golfe du Mexique, où les bactéries ont dégradé le pétrole à un rythme que l'on attendait plus lent.

Aujourd'hui, la pollution par le plastique est désormais l'objet de toutes les attentions, parce qu'on se rend compte qu'il y en a partout. Les quantités de plastique rejetées en mer sont énormes. Ce matériau s'accumule, se décompose en microparticules et n'épargne aucune zone, des plages jusqu'aux grands fonds. Ainsi, en Écosse, la population de fulmars a diminué de 30%, car ces oiseaux ingèrent des microbilles de styrène (on parle de «larmes de sirènes») qu'ils prennent pour de la nourriture.

Ces plastiques sont devenus un problème majeur. Leur production devrait ralentir drastiquement, mais on n'en prend pas le chemin, en tout cas à l'échelle mondiale. C'est aberrant que les sacs en papier ne soient pas plus répandus, mais ils font face à une inertie des habitudes. Le plas-

On peut toutefois remarquer une forme de prise de conscience récente sur la nécessité de réagir. Les réflexions issues de la Conférence intergouvernementale sur la biodiversité marine (BBNJ) à laquelle le Muséum participait vont dans ce sens. Dans ce système de type onusien, avec les contraintes que cela implique, on essaie de définir des modes de régulation à l'échelle mondiale.

L'IPBES (la plateforme intergouvernementale sur la biodiversité et les services écosystémiques), qui a récemment rendu son rapport sur l'état de la biodiversité (elle indique notamment que les humains ont modifié significativement 66% du milieu marin), fonctionne sur le même modèle. C'est une sorte de Giec de la biodiversité, sachant que celle-ci est autrement plus complexe à appréhender que le climat. La biodiversité globale ne peut être approchée que comme l'agrégation de situations locales. On peut la comparer à

L'écosystème marin est très résilient et est capable de se reconstituer rapidement

tique devrait être réservé aux usages pour lesquels il n'est pas remplaçable.

Que pensez-vous des mesures prises pour lutter contre ces menaces ?

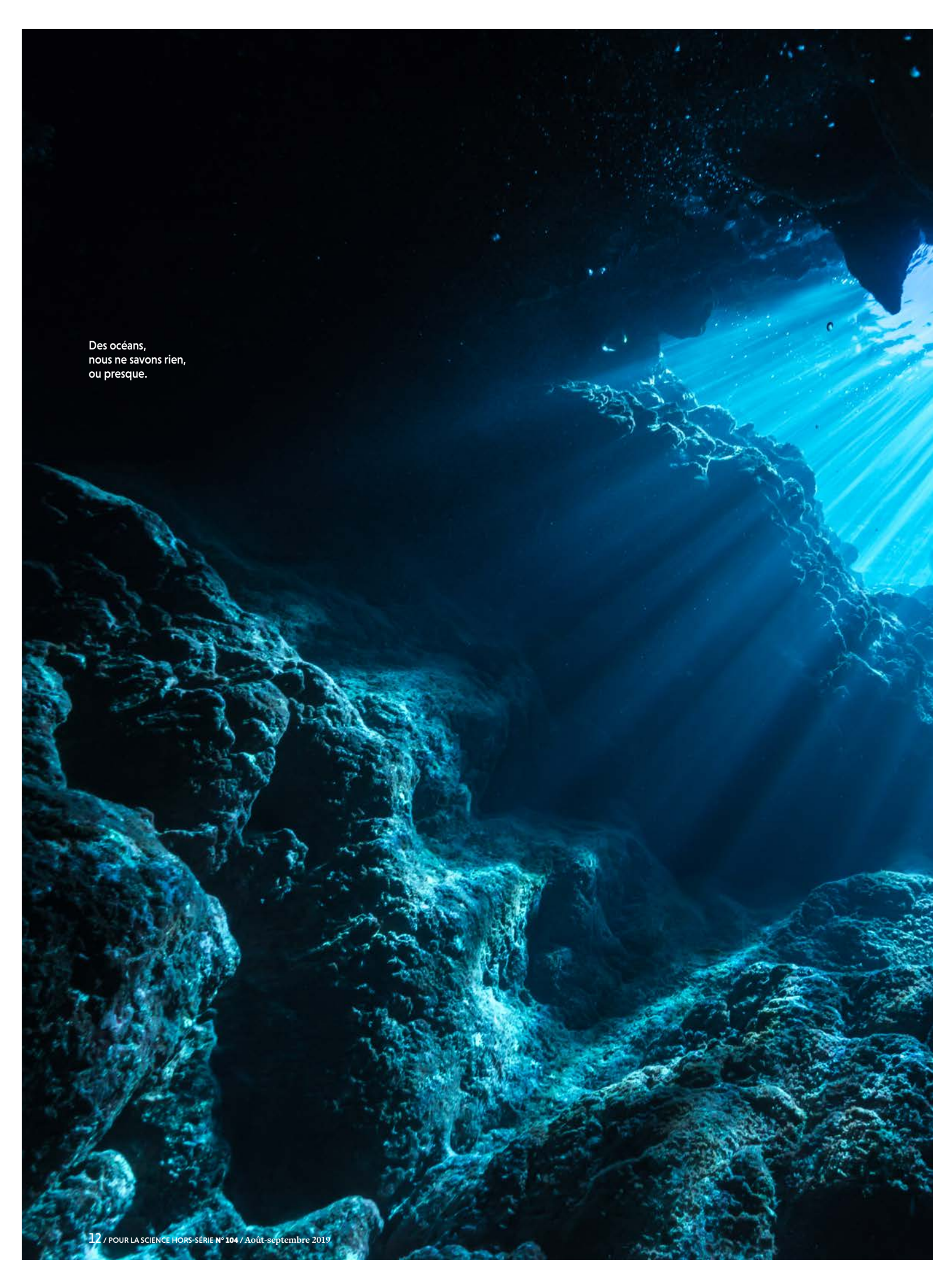
Bruno David : Prenons le cas de la haute mer. Elle constitue un bien commun de l'humanité et n'appartient à personne. Il y a bien des règles internationales pour l'exploiter, mais aucune n'est contraignante. Or la haute mer est désormais très convoitée pour les ressources que l'on a ailleurs épuisées, comme les poissons, les minerais... Nous aurions besoin de nouveaux traités prévoyant de vraies pénalités et devrions imposer un moratoire complet sur l'exploitation des grands fonds.

Mais commençons par chez nous. Faisons en sorte que le Rhône arrête de déverser des plastiques dans la Méditerranée, même si le Nil continue. Je ne vais pas jeter mon ticket de métro sous prétexte qu'il y en a déjà plein sur le sol!

un tableau impressionniste, presque pointilliste composé de multiples touches. De près, on ne voit que des petites taches bleues, jaunes, rouges... La vision d'ensemble ne se révèle qu'en prenant du recul.

L'étendue de ce qu'il reste à faire est considérable, tant l'ampleur des dégâts est grande. Je me souviens par exemple d'une expérience marquante avec les océans. C'était en 1999. J'étais en plongée dans le *Nautille* au large d'une partie désertique du Pérou. Quasiment aucune rivière ne se déversait dans le Pacifique à cet endroit. Loin au large, à 2500 mètres de profondeur, j'étais émerveillé par ce que je voyais, des suintements hydrothermaux froids, un poulpe bleu, des oursins, des amoncellements de crabes rouges... et puis, soudain, un seau en plastique beige avec une corde attachée. Tout est dit. ■

PROPOS RECUEILLIS PAR LOÏC MANGIN

A full-page underwater photograph showing a dark, rocky seabed. Sunlight rays penetrate the water from the upper right, creating a dramatic effect. The rocks are rugged and covered in some marine life. The overall tone is deep blue and mysterious.

Des océans,
nous ne savons rien,
ou presque.



© Divedog/shutterstock.com

MER ET MERVEILLES

Des coraux vivant en profondeur dans des eaux glacées, des oasis de biodiversité près des eaux chaudes sortant à plus de 400 °C des entrailles de la terre, des organismes microscopiques qui n'ont rien à envier aux monstres de la science-fiction... Nous avons encore tant à découvrir dans les océans ! Des pans entiers, et essentiels, de la vie sous-marine ne sont qu'à peine devinés. Ainsi les virus, d'une si incroyable richesse qu'ils bousculent ce que l'on croyait savoir de la vie elle-même. Et les solutions aux plus grands maux que nous infligeons aux océans sont peut-être en leur sein : les chercheurs découvrent aujourd'hui des bactéries qui dégradent le plastique déversé par millions de tonnes dans les eaux du monde par les activités humaines.