

# Pierre-Marie Sarradin : « Ce qui est produit sur terre finit dans la mer »

Le chercheur à l'Ifremer explique que l'océan est une entité connectée dont l'exploration fait de plus en plus appel aux sciences humaines et sociales

## ENTRETIEN

**R**esponsable de l'unité mixte biologie et écologie des écosystèmes marins profonds (BEEP) à l'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (Ifremer), le chimiste et microbiologiste Pierre-Marie Sarradin décrypte l'évolution des sciences océaniques.

### Que sait-on des océans que l'on ignorait il y a vingt ans ?

Les sciences océaniques commencent aujourd'hui sur la terre ferme. Grâce aux avancées scientifiques de ces dernières décennies, nous savons que l'océan profond est connecté non seulement avec la surface, mais aussi avec la côte, et la côte avec le continent. En clair, tout ce qui est produit sur terre, ou presque, finit un jour ou l'autre dans la mer. Si je jette une bouteille de plastique dans les Alpes, elle finira un jour inéluctablement en Méditerranée. Il y a encore une vingtaine d'années, nous pensions que nos agissements étaient déconnectés du fond des océans. Tout le monde reconnaît maintenant que ce n'est pas le cas.

### En a-t-on une preuve palpable ?

Les études menées dans les fosses océaniques les plus profondes, les zones hadales situées au-delà de 6000 mètres, montrent la présence et l'accumulation de microplastiques. Par ailleurs, les

organismes prélevés à ces profondeurs permettent de détecter la présence de polluants organiques persistants, ces substances toxiques qui résultent essentiellement des rejets des activités humaines dans l'environnement. L'idée de fonds marins pristins, autrement dit vierges et sauvages, sans impact de l'homme, a vécu.

### En quoi cela modifie-t-il l'approche des sciences océaniques ?

Le lien anthropologique désormais établi entre les continents et le fond des mers est intéressant du point de vue scientifique, car il oblige à considérer le fonctionnement des océans de manière globale, comme un tout. Une nouvelle pratique en développement, la *source to sink*, vise par exemple à suivre certains éléments depuis une source d'eau vers des environnements en aval, une rivière, un fleuve, un lac, la mer... et le fond des océans.

De plus en plus, nous nous apercevons que les écosystèmes profonds, que l'on pensait auparavant relativement stables et isolés, subissent en réalité les interactions entre les courants profonds et la topographie sous-marine. En se frottant sur le fond, en ripant, les courants créent des tourbillons qui remontent dans la colonne d'eau et augmentent le potentiel de dispersion de toutes sortes d'éléments dans l'océan, particules, larves, avec les conséquences que l'on imagine.

### Quelles formes de vie existent à 5 ou 6 kilomètres de profondeur ?

Dans les années 1970, les sciences océaniques ont connu une avancée majeure avec la découverte de sources hydrothermales profondes. Celle-ci a permis de comprendre que, dans les abysses, des systèmes fonctionnent sans photosynthèse. En l'absence de la lumière du soleil, la seule source d'énergie disponible dans les plaines abyssales, soit environ 80 % des profondeurs océaniques, provient de la matière organique produite en surface et qui se dégrade dans la colonne d'eau, durant sa sédimentation. Très peu d'énergie est disponible sur le fond.

L'écosystème abyssal est donc constitué en très grande majorité de très petits organismes, avec beaucoup d'espèces différentes dans les premières couches de sédiments.

### D'où cette énergie provient-elle ?

Les sources hydrothermales profondes ont été mises au jour grâce aux travaux de recherche sur les plaques continentales. Elles apparaissent sur les dorsales océaniques, là où il y a d'importantes activités volcaniques et tectoniques. Quand les plaques s'écartent, elles forment un plancher océanique plus fin et plus fracturé, où les eaux froides pénètrent dans l'écorce terrestre, se réchauffent, et changent alors complètement de composition physico-chimique.

Elles se chargent notamment en métaux et en éléments utilisés ensuite par des micro-organismes pour produire de la matière organique qui va soutenir ces écosystèmes très productifs. C'est la chimiosynthèse microbienne.

### Quelles sont les compétences requises pour approfondir ces sujets ?

L'océan est aujourd'hui considéré comme une entité connectée, et les nouvelles méthodes d'exploration reposent sur des approches pluridisciplinaires. Il y a cinquante ans, ceux qui ont découvert l'existence des sources hydrothermales profondes étaient géologues ou géophysiciens. Par la suite, leurs recherches se sont ouvertes aux écologues, et se sont enrichies en se diversifiant. De nos jours, des projets se multiplient, dans lesquels on essaie de faire entrer les sciences humaines et les sciences sociales. Cela soulève des questions de plus en plus pointues, notamment sur l'éthique de la recherche.

## « LES SCIENTIFIQUES S'INTERROGENT SUR LA PERTINENCE D'EXPLORER PARTOUT. IL FAUT TROUVER L'ÉQUILIBRE ENTRE CONNAISSANCE ET IGNORANCE »

### Reste-t-il des régions inexplorées ?

Bien sûr. Mais cela n'empêche pas les scientifiques de s'interroger sur la pertinence d'aller explorer partout. Les sciences océaniques sont rattrapées par la philosophie et l'anthropologie, avec des interrogations de plus en plus fortes sur les liens souvent ignorés par le passé entre les peuples indigènes et l'océan. Il s'agit de trouver le bon équilibre entre connaissance et ignorance. Avec une contrainte supplémentaire due au changement climatique : comment décarboner les activités des chercheurs ?

### Peut-on imaginer que la technologie arrive un jour à ses limites ?

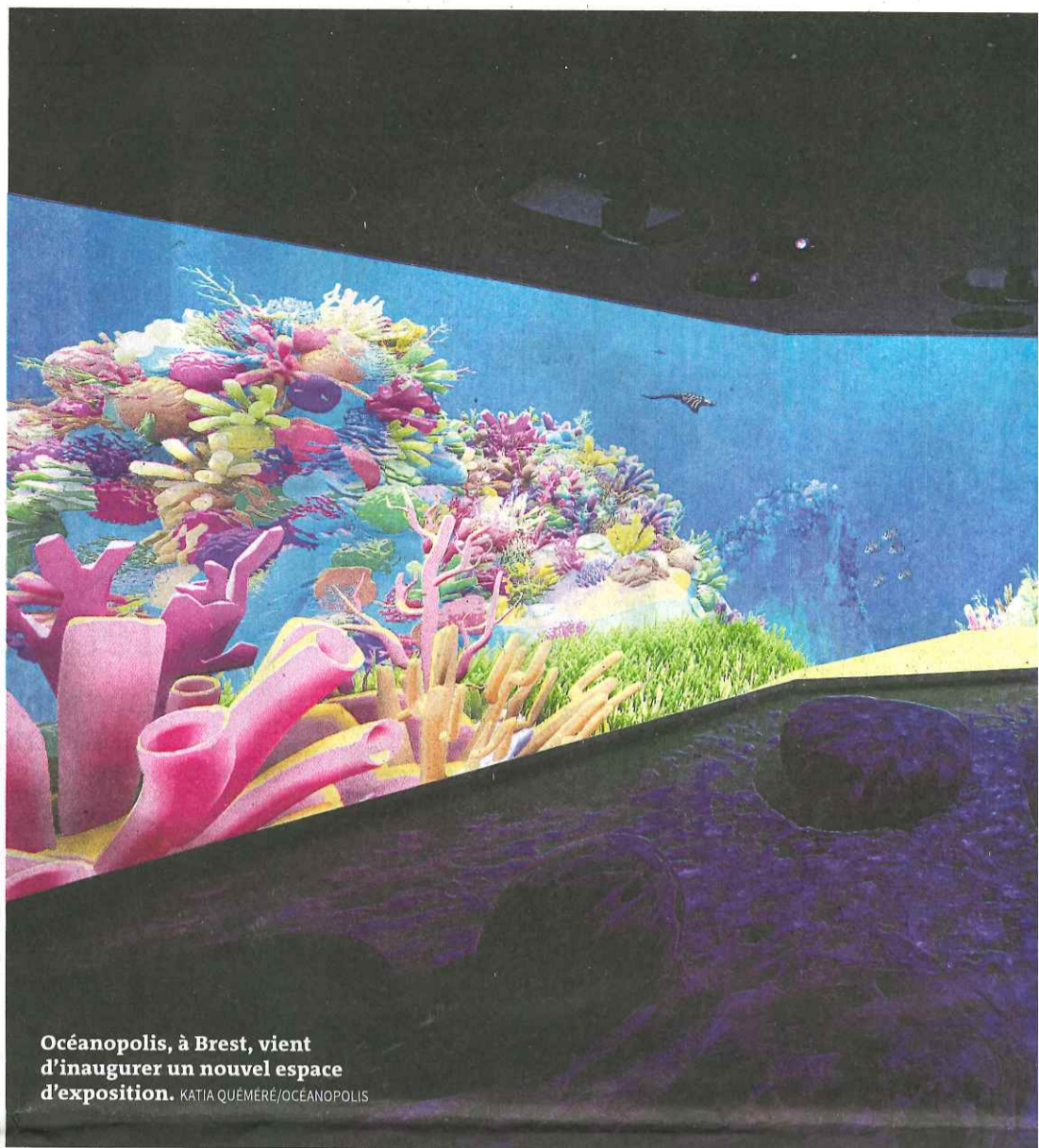
La progression des sciences océaniques a toujours été liée à l'évolution des technologies. Au début du XX<sup>e</sup> siècle, il s'agissait d'étudier les océans depuis la surface. On a commencé à descendre sous l'eau avec l'invention des submersibles, dans les années 1930, lesquels se sont beaucoup développés jusqu'aux années 1960. Puis il y a eu l'avènement des sous-marins scientifiques, qui ont permis, par un accès direct, d'améliorer la cartographie des fonds, grâce aux véhicules téléopérés apparus dans les années 1980, grâce ensuite aux sonars de plus en plus puissants, et, plus récemment, aux drones automatisés... La panoplie s'élargit avec le temps, et permet de travailler à de très petites échelles, et l'on continue de découvrir de nouvelles espèces. On sait aujourd'hui prélever les organismes, mesurant moins de 1 millimètre qui constituent la méiofaune. On sait également conserver des organismes sous pression.

### Les sciences océaniques sont-elles investies par l'intelligence artificielle ?

D'abord, la génétique a permis des avancées considérables. L'étude de l'ADN permet de déterminer de nouvelles espèces, uniquement à partir de la carte d'identité de leur génome. Cela conduit à travailler sur des organismes de plus en plus petits, à l'aide de méthodes d'imagerie en 3D de plus en plus pointues. Et à l'aide, oui, de l'intelligence artificielle, qui fait entrer les sciences océaniques dans une nouvelle ère, car elle permet la reconnaissance automatique d'espèces avec une fiabilité extrême. ■

PROPOS RECUEILLIS PAR  
GUILLAUME DELACROIX

Ce dossier a été réalisé dans le cadre d'un partenariat avec la Fête de la science.



Océanopolis, à Brest, vient d'inaugurer un nouvel espace d'exposition. KATIA QUÉMÉRÉ/Océanopolis

## La station marine de Luc-sur-Mer rouvre ses portes au public

LE CENTRE DE RECHERCHES en environnement côtier (CREC) de Luc-sur-Mer, dans le Calvados, a fait peau neuve. Fondé en 1879, il étudie en aquarium le comportement des roussettes, des bars et de différents céphalopodes, comme les seiches et parfois les poulpes. La plupart de ses installations étaient vétustes et non conformes à la directive européenne de 2010 relative à la protection des animaux utilisés à des fins scientifiques.

Sa rénovation aura duré plus de six ans, avec le soutien de la région Normandie, de l'Etat, du Fonds européen de développement régional (Féder) et de l'université de Caen-Normandie. En ce mois d'octobre, le CREC va ouvrir ses portes au public à l'occasion de la Fête de la science. Cela n'était pas arrivé depuis bien longtemps.

Les visiteurs vont pouvoir découvrir les nouveaux locaux et participer à des ateliers sur différentes thématiques liées à l'océan, afin de comprendre les travaux de recherche menés dans l'établissement. L'édifice principal abrite les laboratoires « in vitro » où sont effectuées des analyses de l'eau de mer, des recherches en biologie moléculaire, de la culture de phytoplancton et de grandes algues. Un autre bâtiment est consacré à l'animalerie réglementée, avec des pièces différentes pour chaque espèce. « Il est interdit de les mélanger et chacune doit avoir son propre réseau d'eau », précise Cécile Bellanger, directrice de la station marine.

Le troisième bâtiment à avoir subi de gros travaux est situé devant la plage. C'est là qu'est installée la pompe qui prélève de l'eau de mer au large et alimente tous les robinets de la station. On y

trouve également un laboratoire d'étude du benthos, terme désignant l'ensemble des organismes qui vivent sur le fond des océans. Ici, on s'intéresse plus particulièrement aux effets de la pollution sur les crustacés et les coquillages.

### Recherches sur l'impact des éoliennes

Jusqu'à présent, la station n'était utilisée que temporairement par des chercheurs de l'université de Caen. La réhabilitation du lieu permet à deux équipes de résider sur place désormais à temps plein. « Nous apportons un soutien logistique et humain à toutes sortes de profils, des biologistes marins, des géographes ou des éthologues qui étudient le cerveau des animaux », explique Cécile Bellanger.

La station de Luc-sur-Mer est en prise avec l'actualité. L'un de ses programmes de recherche actuels porte sur les

éoliennes en cours d'installation en face de Courseulles-sur-Mer. Un parc destiné à couvrir la consommation domestique en électricité de plus de 90 % des habitants du Calvados. « Au lieu de voir ce projet négativement, nous regardons si la structure portante des éoliennes peut recréer des récifs artificiels favorables à l'installation des végétaux et animaux marins », indique Cécile Bellanger. La station examine en outre l'impact des gros câbles électriques qui seront amenés à être installés sous le sable pour acheminer le courant électrique produit en mer. L'idée est de déterminer si les animaux migrateurs, comme la seiche, pourraient modifier leur comportement sous l'effet du champ magnétique produit par ces câbles. Un sujet très concret. ■

GU. D.



# Océanopolis s'offre un coup de jeune avec la Cité des Océanographes

A Brest, le centre national de culture scientifique consacré aux milieux marins a ouvert en juillet un nouvel espace interactif

## REPORTAGE

BREST (FINISTÈRE) - envoyé spécial

Il scrutent le visiteur intensément. De gros yeux d'animaux marins, surgis du mur d'entrée de la Cité des Océanographes, le nouvel espace d'exposition interactif inauguré en juillet à Océanopolis, le centre national de culture scientifique de Brest consacré à l'océan. L'œil de la baleine à bosse, capable de voir aussi bien en surface qu'à 150 mètres de profondeur. L'œil du poulpe, véritable radar à même de repérer le moindre prédateur aux alentours. Celui du poisson-lime, sensible à toutes les teintes de l'arc-en-ciel mais aussi aux UV, fonction très utile pour déambuler dans les récifs coralliens multicolores.

« C'est trop bien, en touchant les yeux sur les écrans muraux, on découvre comment chaque animal voit sous l'eau, quelles couleurs il détecte, et on compare avec les humains pour qui tout est bleu et un peu flou », s'exclame César, un adolescent de 16 ans passionné de voile et de pêche. Un peu plus loin, petits et grands sont invités à découvrir les sons des animaux marins. L'éternuement de la coquille Saint-Jacques, qui ouvre ses deux valves puis les referme d'un coup sec, pour expulser les particules indésirables. Le grognement du grondin, un poisson dont les muscles tambourinent contre la vessie, telles deux baguettes sur un tambour, lorsqu'il est stressé. Le carillon de l'oursin, dont les piquants protecteurs s'entrechoquent et effleurent les rochers quand il se déplace avec ses pieds ventouses. On croirait entendre des talons aiguilles frapper un plancher.

Les enfants peuvent manipuler des instruments pour tenter de reproduire tous ces drôles de

bruits, tandis qu'une table sonore équipée de casques permet d'écouter, à l'aveugle, une vingtaine de sons enregistrés sous l'eau. Tout l'enjeu est de les reconnaître. Pour Elsa, 13 ans, c'est « la partie la plus intéressante » du lieu, avec l'Agora, un espace central doté de sept bornes destinées à participer, en groupe, à un jeu d'une vingtaine de minutes sur le thème de la compassion. « On apprend qu'en vrai on manque d'empathie pour certains animaux, surtout ceux qui ne nous ressemblent pas. C'est une bonne leçon pour nous apprendre à mieux respecter l'environnement », dit-elle, soudain très sérieuse.

### Pingouins déprimés

La Cité des Océanographes est la première réalisation du programme de rénovation engagé par Océanopolis pour mettre au goût du jour des infrastructures ouvertes au public en 1990. « Nos moyens scénographiques ont pris de l'âge, et ne correspondent plus aux standards éducatifs d'aujourd'hui. Nous nous devons d'évoluer vers un accueil plus immersif et moins rébarbatif », explique Dominique Barthelemy, son conservateur.

De fait, les aquariums du pavillon tropical et du pavillon polaire ne sont plus du tout à la page. Des requins et des raies tournent en rond dans des bassins jugés « tristes à mourir » par nos jeunes visiteurs, sans parler de la banquise en ciment où s'entassaient des pingouins déprimés. Elsa trouve « bizarre » qu'en 2024 « on voie encore des animaux enfermés comme ça ». En septembre, les pavillons en question ont fermé pour travaux. Ils rouvriront à l'été 2025, métamorphosés.

La Cité des Océanographes, elle, donne une idée de ce vers quoi souhaite aller le centre brestois, dans une ville Campus mondial

## LES ENFANTS COLORIENT SUR DES TABLETTES DES ESPÈCES MARINES IMAGINAIRES QUI, AU BOUT DE QUELQUES SECONDES, APPARAISSENT SUR UN ÉCRAN GÉANT

de la mer qui concentre 80 % de la recherche océanographique française, publique ou privée, avec la présence de l'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (Ifremer), du laboratoire d'océanographie physique et spatiale placé sous la tutelle du CNRS, du service hydrographique et océanographique de la marine (Shom) et de l'Institut universitaire européen de la mer (IUEM)... Il faut dire que Brest est l'un des premiers sites de la planète où des observations systématiques du niveau de la mer ont été effectuées, dès le XVII<sup>e</sup> siècle.

Imaginée par le scénographe Pascal Payeur et, entre autres, par Anne Rognant, conservatrice chargée de la médiation scientifique et culturelle à Océanopolis, morte brutalement en 2021, la Cité des Océanographes a coûté près de 2,4 millions d'euros à Brest Métropole. Elle est le résultat d'un travail collaboratif entre une vingtaine de scientifiques et une trentaine d'entreprises privées. « Nous avons voulu extraire la substantifique moelle des thèmes retenus, penser l'océan, agir pour l'océan, en expurgant ce qui n'était pas indispensable, notamment la barrière de l'écrit que l'on trouve habituellement sur les murs des expositions », indique M. Barthelemy.

C'est ainsi que l'installation consacrée à l'omniprésence des

déchets plastiques dans la mer prend la forme d'une borne servant à montrer en images les conséquences de cette pollution sur la faune. A côté, une table dotée d'un microscope invite à observer sept échantillons de microplastique, avant de regarder une fresque sur la lente décomposition de ces matériaux. Une manière d'informer sur la dégradation des espaces naturels par les êtres humains au travers de l'image plutôt que du texte.

### Espèces marines imaginaires

La Cité des Océanographes occupe l'ancienne boutique de souvenirs, à côté des salles éducatives habituées à recevoir jusqu'à 35 000 scolaires par an. Elle est consacrée aux enfants et aux parents qui les accompagnent, à raison d'une soixantaine de personnes par heure, soit environ 10 % de tous les visiteurs qui viennent à Océanopolis. Le point d'orgue de ce nouvel espace, accessible moyennant 2 euros en complément du billet d'entrée, est sans conteste la visite de l'Océan'Art, une pièce sombre où les enfants colorient des espèces marines imaginaires sur des tablettes tactiles.

Au bout de quelques secondes, leurs créatures fantastiques apparaissent sur un écran géant, sorte d'océan virtuel où se côtoient poulpes jaune fluo, méduses à visage humain, tortues à la carapace rayée... « C'est mon truc préféré, on peut dessiner tous les animaux qu'on veut, et après ils deviennent vivants », s'extasie Hugo, qui ne veut plus lâcher sa tablette. A quelques jours de son sixième anniversaire, le garçon laisse libre cours à son imagination débridée. Preuve que la Cité des Océanographes a atteint son objectif. ■

GUILLAUME DELACROIX

## UN OcéAN DE SAVOIRS

Parrainée par l'apnéiste Guillaume Néry, la Fête de la science 2024 se tient du 4 au 14 octobre autour de la thématique « Océan de savoirs ». Ce sujet a été retenu par le ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche, organisateur de l'événement, afin de souligner l'importance des milieux marins pour la France, deuxième espace maritime mondial derrière les Etats-Unis, et pour initier le public aux mystères de ce « véritable laboratoire à ciel ouvert, milieu complexe qui mobilise un

champ important de recherche tant du point de vue des sciences fondamentales que des sciences appliquées et des sciences humaines et sociales ». Les reportages que nous vous proposons dans ces pages ont été réalisés dans des lieux auxquels vous pouvez accéder pendant la Fête de la science. Des milliers d'autres vous sont accessibles, partout en France. Le programme (plusieurs milliers d'événements en France) et les informations pratiques sont sur : [www.fetedelascience.fr](http://www.fetedelascience.fr)

# Dans l'Essonne, les chercheurs se plongent dans les climats du passé

Les carottes de sédiments sous-marins conservées au CEA, à Gif-sur-Yvette, constituent un archivage précieux des phénomènes anciens

On le sait depuis longtemps, les océans sont un réceptacle du déséquilibre énergétique de la planète. « Du fait de leur énorme volume, ils contiennent beaucoup de chaleur et beaucoup de nos déchets », résume François-Marie Bréon, directeur adjoint du Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE), une unité mixte de recherche du CNRS, du CEA et de l'université Paris-Saclay installée dans l'Essonne.

En premier lieu, les océans absorbent « 95 % du déséquilibre radiatif », cette différence entre l'énergie solaire qui entre dans le système Terre et les infrarouges qui en sortent en moindre quantité, un phénomène à l'origine du réchauffement. En second lieu, les océans fonctionnent comme « une poubelle à CO<sub>2</sub> » en dissolvant en leur sein une partie des émissions anthropiques présentes dans l'atmosphère, à l'image de vases communicants. « Sans ce puits océanique, le réchauffement

climatique serait significativement plus rapide », souligne M. Bréon.

Il y a toutefois d'autres raisons de surveiller ce qui se passe sous l'eau. La montée du niveau des mers, par exemple. Ce phénomène évolue dans le temps. « Il y a trente ans, la première cause était la dilatation des eaux sous l'effet de températures plus élevées. Aujourd'hui, la fonte des glaciers et des glaces du Groenland et de l'Antarctique domine le bilan d'élévation du niveau moyen des mers », précise l'expert.

### 5000 mètres sous les mers

Les chercheurs ont eu très tôt l'intuition que la plus grande part du CO<sub>2</sub> ne restait pas dans l'atmosphère. Mais ils ont récemment développé des techniques permettant d'en savoir beaucoup plus. Ainsi du carottage de sédiments sous-marins, à des profondeurs de plus en plus importantes, qui rend possible l'exploration de l'histoire des climats de notre planète. Avec le Marion-Dufresne 2, plus gros na-

## « LA TERRE A CONNU DES PHÉNOMÈNES DE MASSIFICATION DU CARBONE DANS L'OcéAN SOUS DES CLIMATS TRÈS CHAUDS »

ALINE GOVIN  
paléo-océanographe au LSCE

vire de la flotte océanographique française, les scientifiques peuvent descendre jusqu'à 5000 mètres, mais surtout cibler les régions du monde où les sédiments se sont accumulés le plus rapidement, à raison de 2 centimètres par siècle, contre une moyenne de 2 centimètres par millénaire dans l'ensemble des mers et océans.

« Ces sédiments contiennent une partie terrigène, autrement dit des éléments arrachés aux continents et transportés par les rivières et les

courants océaniques, ou sous forme de poussières véhiculées par le vent. Ils contiennent aussi une partie biogène, des restes du vivant composés essentiellement de coquilles de foraminifères, des minuscules de mer », détaille la paléo-océanographe Aline Govin, chargée de recherche au LSCE, établissement doté d'une carothèque où sont conservés environ 20 kilomètres de carottes de sédiments, dont les plus anciennes remontent à 1970. Un archivage unique au monde.

Grâce à la datation de ces éléments, on peut connaître la température de la mer il y a des millions d'années, sa salinité, son pH, l'intensité de ses courants profonds. Mais aussi reconstruire la végétation ou les précipitations au large d'un littoral, et connaître de cette manière le climat qui régnait alors. On remonte bien plus loin qu'avec les carottes de glace, qui permettent d'aller, au mieux, 800 000 ans en arrière. « C'est comme cela que l'on sait que la

Terre a connu des phénomènes de massification du carbone dans l'océan sous des climats très chauds, lors desquels les quantités de CO<sub>2</sub> diluées étaient extrêmement élevées, parfois supérieures à 1000 parties par million (ppm) », pointe M<sup>me</sup> Govin.

### « Rempart naturel »

La concentration actuelle en CO<sub>2</sub>, de l'ordre de 420 ppm, pourrait paraître relativement faible, sauf que « la dernière fois que c'est arrivé, c'était il y a quinze millions d'années », dit-elle. Avant de s'enlever, la concentration en CO<sub>2</sub> oscillait entre 180 et 280 ppm au gré des périodes interglaciaires, et ce depuis le début du quaternaire, il y a plus de deux millions d'années.

« On estime que, au cours de la dernière décennie, les océans ont séquestré en moyenne 2,5 gigatonnes de CO<sub>2</sub> par an, ce qui correspond peu ou prou au quart des émissions de carbone relâchées dans l'atmosphère par l'activité humaine, principalement la combus-

tion du pétrole, du charbon et du gaz. Aujourd'hui, les océans renferment 40 000 gigatonnes de carbone, soit cinquante fois plus que l'atmosphère. Mais ce rempart naturel contre le changement climatique montre des signes d'affaiblissement », relève l'océanographe Marina Lévy, conseillère scientifique pour l'océan auprès de l'Institut de recherche pour le développement (IRD).

« Raison de plus pour soutenir les sciences océaniques et encourager la prise de conscience de ces enjeux par le grand public », estime Sabine Roux de Bézieux, présidente de la Fondation de la mer. Parmi les nouveaux champs de recherche, l'exposome océanique est promis à un grand avenir, en visant à étudier l'ensemble des phénomènes auxquels les océans sont exposés, en particulier les pollutions aux plastiques et aux antibiotiques. « Il y a encore beaucoup de choses que l'on ignore », rappelle M<sup>me</sup> Roux de Bézieux. ■

GU. D.