

Pollution, température de l'eau, concentration en oxygène... Coquilles Saint-Jacques et autres bivalves constituent de précieuses archives sur l'environnement et le climat. Des chercheurs bretons, à l'origine de cette découverte, parcourent les mers pour les étudier. Cet été, une grande exposition à Brest permettra de découvrir leurs travaux aux pôles.

Coquillages, les sentinelles des océans

par Gaël Hautemulle

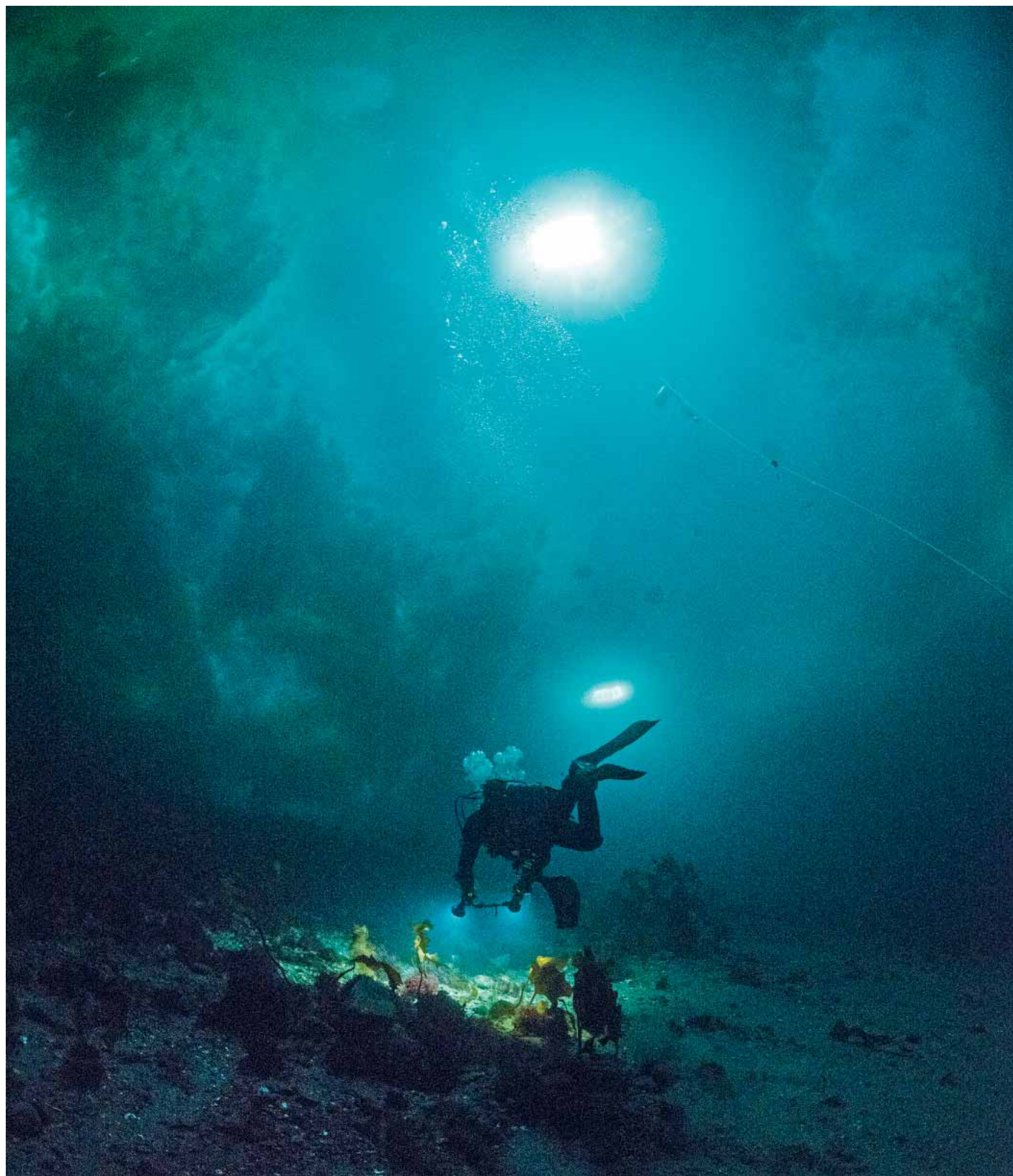
Brest, à la pointe ouest de la Bretagne.

Tout commence dans le Finistère. Depuis ce bout du monde avancé dans l'océan Atlantique, les chercheurs du Laboratoire international associé Benthic Biodiversity Ecology, Sciences and Technologies (LIA BeBest)¹ partent régulièrement explorer les mers du globe, de l'île d'Ouessant au Maroc, de la Nouvelle-Calédonie à l'Antarctique en passant par la Mauritanie. Leur quête est surprenante : ils sont à la recherche de mollusques bivalves de la famille des pectinidés. Notamment, les célèbres coquilles Saint-Jacques (*Pecten maximus*) et leurs cousines, les pétoncles. Non par gourmandise, mais par soif de connaissances. Car depuis plus de vingt ans, ils ont découvert et démontré qu'il était possible d'utiliser ces animaux comme des archives environnementales.

Température et salinité de l'eau, concentrations en oxygène ou en contaminants, état du phytoplancton dans leur environnement naturel... « *Leur squelette externe, c'est-à-dire leur coquille, enregistre toutes sortes d'informations écologiques très utiles à la compréhension des écosystèmes côtiers* », explique Laurent Chauvaud directeur de recherche au Laboratoire des sciences de l'environnement marin² et coordinateur de BeBest. À la clé, des quantités de données très utiles pour reconstituer les climats du passé, suivre le réchauffement actuel mais aussi les épisodes de pollution. Avec un sens du détail inédit : aujourd'hui, les bivalves nous renseignent sur l'environnement marin avec plus de précision temporelle que les cernes annuels de croissance d'un arbre sur Terre, ou que les strates d'une carotte de glace pour les pôles !

▼ La quête d'indices sur le réchauffement climatique conduit les chercheurs jusqu'aux eaux froides du Groenland.

© E. Amice/Lemar/CNRS Photothèque





Chaque jour, par exemple, *Pecten maximus* enregistre la température de l'eau de mer, à 0,5 °C près, à l'instar d'un thermomètre médical. Mieux encore : les chercheurs, dont le jeune docteur Pierre Poitevin de l'Université de Bretagne occidentale, ont appris à faire parler le pétoncle géant de l'archipel Saint-Pierre-et-Miquelon, dans l'Atlantique. L'analyse de sa coquille livre des informations détaillées, et précises au quart d'heure près, sur son environnement !

Eau mitigée et nourriture équilibrée

Pour en arriver là, Laurent Chauvaud et son équipe ont appris année après année à décoder les informations archivées par les coquillages. Ils ont observé et mesuré les distances entre les microstries présentes à la surface des coquilles. Et sous la loupe binoculaire, ils ont enchaîné les

découvertes : chaque distance séparant ces microstries est le résultat de la croissance journalière de la coquille observée et la diminution de ces distances est liée aux facteurs d'altération de cette croissance. Par exemple, un refroidissement de l'eau de mer.

La mise en évidence de cet impact de la température de l'eau remonte à l'an 2000, lors d'une plongée à Bergen, en Norvège. Plus pauvre en nitrates et autres sels nutritifs que les baies bretonnes, ce littoral nordique leur a permis de corrélérer des ralentissements de croissance avec des jours précis d'*upwelling* (remontées brutales d'eau froide), le temps d'une journée d'été, sous l'effet de forts vents de nord-est, parallèles à la côte³.

« Les coquilles norvégiennes présentaient, ces jours-là, des accidents de croissance, se souvient le chercheur. Comme tétanisées

► Pour faire parler le pétoncle géant, les scientifiques l'équipent d'un accéléromètre pour enregistrer ses mouvements et mesurent les distances entre chaque microstrie à la surface de la coquille.

© (de gauche à droite)

E. Amice/Lemar/CNRS Photothèque;
Jean Gaumy/Magnum Photos



▼ Dans le lagon de Nouvelle-Calédonie, ce bémotier, équipé d'un accéléromètre, livrera peut-être des informations sur les modifications comportementales dues à des stress environnementaux.
© E. Amice/IRD/CNRS Photothèque

par l'eau froide, elles n'avaient grand que de l'équivalent d'une strie d'hiver en plein mois de juillet!» Une nouvelle approche était née: l'étude des stries des Saint-Jacques.

Nos Champollion des océans ont découvert un autre facteur jouant sur la distance entre les stries: une dégradation brutale de la nourriture des mollusques. En effet, quand survient une efflorescence (ou un *bloom*) d'algues toxiques ou, comme souvent en Bretagne, un excès de phytoplancton (dû aux nitrates des effluents agricoles), pourtant le plat préféré des Saint-Jacques, leur coquille croît moins vite, voire plus du tout. «*Vous pouvez adorer la choucroute*, explique Laurent Chauvaud. *Si le plat devient copieux au point de vous empêcher de respirer, vous risquez de ne plus avoir envie de vous nourrir!*»

Oui, mais alors comment faire pour ne pas confondre tous ces indices (en l'occurrence la température de l'eau et le régime alimentaire) qui s'offrent à nos scientifiques? «*Ici, la schlérochimie entre en jeu*, répond Laurent Chauvaud. *Nous nous sommes intéressés, non plus seulement à la structure de la coquille, mais à sa composition chimique.*»

L'étude de la composition chimique

Ce sont les travaux du biogéochimiste et écologue Julien Thébaud, en Nouvelle-Calédonie, qui ont permis cette avancée. Sur place, les chercheurs voulaient savoir si l'exploitation de la réserve de nickel avait contaminé l'un des plus beaux lagons du monde, abritant 25 espèces de pectinidés. Or en croisant leurs données, ils se sont aperçus que des traces de métaux, comme

le baryum et le molybdène, dans les coquilles, étaient corrélées aux efflorescences du phytoplancton, ses excès ou encore sa sédimentation. En 2005, ils démontrent que les isotopes⁴ de la calcite des coquilles donnent a posteriori des informations journalières précises sur la température de l'eau. Et que la présence d'isotopes d'éléments traces⁵ (métalliques), contenus dans la coquille, nous éclaire sur la dynamique du milieu. La révolution scientifique est en marche, faisant de la Saint-Jacques et de ses congénères, des thermomètres enregistreurs journaliers et, plus largement, des témoins de l'environnement à travers le temps. Rapidement, les chercheurs prennent conscience des précieuses archives qui leur tendent les bras. Car ces coquillages sont présents, à foison, du Maroc à la Norvège, jusqu'à 500 mètres de profondeur, et depuis 25 millions d'années ! De quoi les aider dans leurs « enquêtes » sur le réchauffement climatique ou l'histoire des écosystèmes de la planète.

Durée de vie trop courte

Mais les précieuses informations que fournit la coquille Saint-Jacques ne suffisent plus à satisfaire l'appétit de connaissances des chercheurs du LIA BeBest. En cause ? Sa courte durée de vie : de quatre à cinq ans. À la recherche d'archives contenant des périodes de temps longues, qui permettraient de statuer sur l'impact de changements globaux, comme l'actuel réchauffement climatique, les scientifiques convoient

désormais des bivalves longévives : la *Laternula* d'Antarctique, quadragénaire ; l'amande de mer *Glycimeris glycimeris* de la rade de Brest, dont la durée de vie est comprise entre 70 et 80 ans ; la mye *Mya truncata* de l'Arctique, l'astarte ou le pitot *Cyrtodaria siliqua*, de fringants centenaires ; et, surtout, la palourde noire de Saint-Pierre-et-Miquelon, *Arctica islandica* : 500 ans de durée de vie !

L'indic qui venait du froid

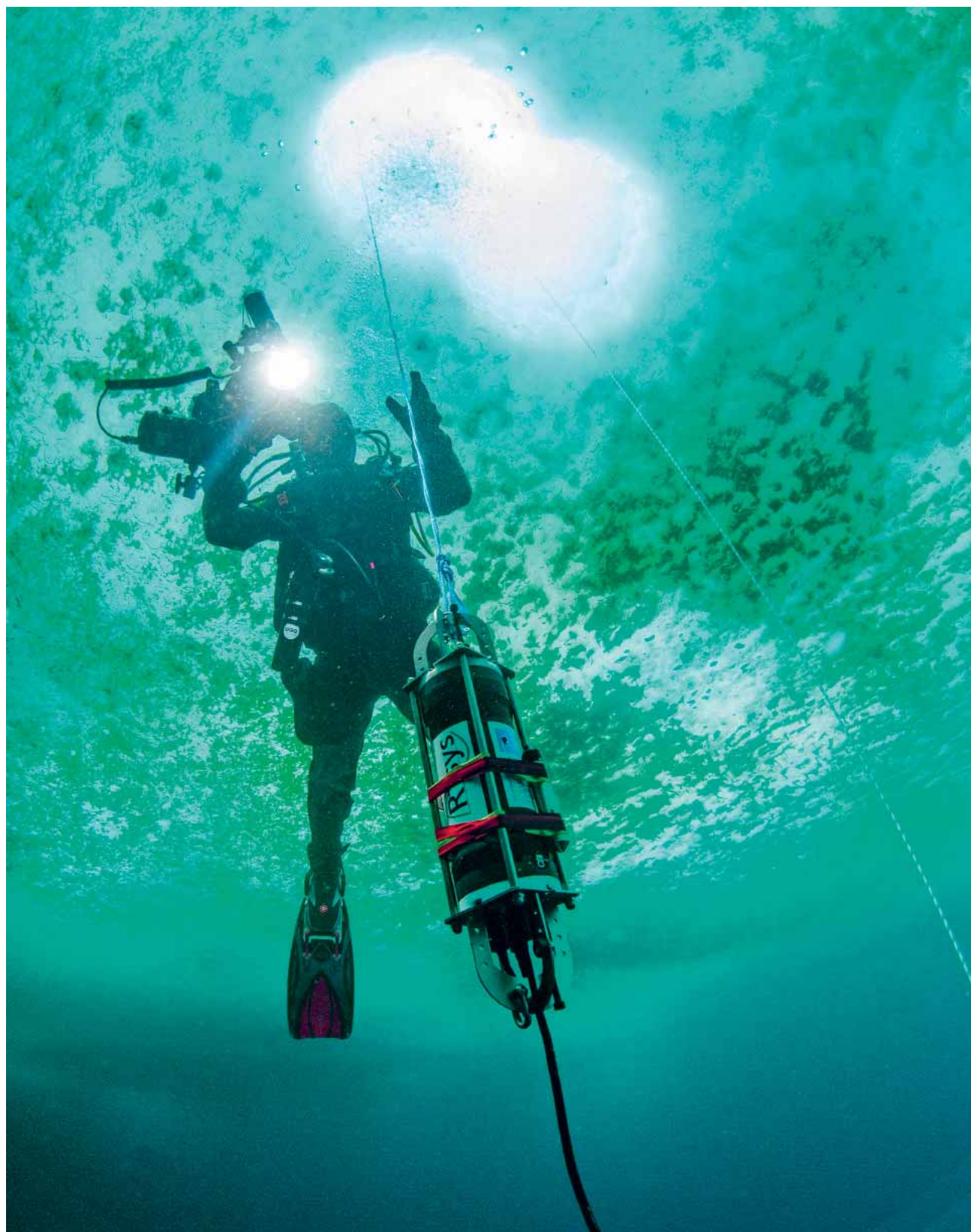
Largement répandue sur les fonds sableux de l'archipel, celle-ci détient le record de longévité d'une espèce animale non coloniale, c'est-à-dire coraux exceptés. « *Arctica islandica* est un véritable parchemin ! s'enthousiasme Laurent Chauvaud. Depuis plusieurs siècles, cet animal endogé (qui vit dans le sol, NDLR), filtreur et immobile, enregistre, dans le carbonate de calcium de sa coquille, et au rythme d'une strie annuelle, des informations qui vont permettre de décrire l'environnement des eaux de la façade ouest de l'Atlantique nord. »

C'est d'ailleurs cet « indic » que les chercheurs sont partis interroger à Saint-Pierre-et-Miquelon. Aux confluences du Saint-Laurent, des courants du Labrador et du Gulf Stream, l'archipel connaît l'un des plus forts réchauffements actuels. Grâce aux informations biologiques enregistrées, année après année, strie après strie, par *Arctica islandica* dans sa coquille, les scientifiques veulent reconstituer le climat local durant les siècles passés. Et contribuer à élaborer un scénario pour le siècle à venir. Et les pôles, alors ? En Antarctique, les chercheurs s'intéressent

La coquille Saint-Jacques et ses congénères sont des témoins de l'environnement à travers le temps.

▼ En Antarctique, sous la banquise, un plongeur contrôle et récupère un hydrophone, appareil utilisé pour enregistrer le paysage sonore sous-marin.

© E. Amice/Lemar/CNRS Photothèque





à un pétoncle austral circumpolaire et à ses cousines, les myes. Les archives environnementales livrées par ces animaux renseignent sur les variations saisonnières de la glace et donc sur l'impact du réchauffement climatique. Sous la banquise, privées de lumière pendant les cinq ans d'une absence de débâcle, non loin de la base scientifique de Dumont d'Urville, les algues phytoplanctoniques sont rares et les algues laminaires disparaissent. Mais pas les pétoncles, malgré la raréfaction de leur nourriture ! Pour les ausculter, les plongeurs-chercheurs, qui n'ont froid ni aux mains ni aux yeux, ont développé, avec leur voisin brestois, l'Institut Paul-Émile-Victor, toute une culture de la recherche sous-marine en milieu polaire, « faite d'ingéniosité, de ratages et de bricolage ». Ils ont appris à creuser des trous de 12 m²

dans la banquise pour accéder à l'eau libre, sous 1 mètre de neige et 3 mètres de glace, avant de plonger dans une eau à $-1,8^{\circ}\text{C}$, au milieu des icebergs, d'y faire des photos et des manipulations fines. « Tout cela, avec des gants de boxe ! » plaisante Laurent Chauvaud.

Principaux témoins des pollutions

Si les mollusques recèlent de précieuses données climatiques, ils peuvent aussi être déserts sur les pollutions qui touchent leur environnement. C'est d'ailleurs le point de départ des travaux de nos scientifiques. Au début des années 1980, confrontés à la raréfaction des populations de Saint-Jacques, les pêcheurs de la rade de Brest alertent les enseignants-chercheurs de l'Université de Bretagne occidentale et les chercheurs du Centre national d'exploitation des océans (Cnexo,

Pour ausculter les palourdes dans des eaux à $-1,8^{\circ}\text{C}$, les plongeurs-chercheurs ont développé toute une culture de la recherche sous-marine en milieu polaire.



► Pour plonger sous la banquise, au milieu des icebergs, les chercheurs doivent d'abord creuser des trous pour accéder à l'eau libre, sous 1 m de neige et 3 m de glace.

© Jean Gaumy/Magnum Photos

▼ La palourde noire de Saint-Pierre-et-Miquelon peut vivre jusqu'à... 500 ans! Un record de longévité qui en fait une mine d'informations sur les climats passés et un allié de taille pour élaborer des scénarios pour l'avenir.

© Benjamin Deroche

futur Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer, ou Ifremer), afin de comprendre pourquoi cette espèce a disparu d'un écosystème pourtant si favorable à l'origine. Les chercheurs identifient les causes : rejets en excès de nitrates et efflorescences d'algues toxiques.

Depuis ces premiers pas, les cas d'étude se sont multipliés, souvent à la demande des professionnels et des élus locaux. Les scientifiques ont par exemple étudié les coquillages de Belle-Île-en-Mer, dans le Morbihan, ayant vécu au début du XXI^e siècle, pour en apprendre davantage sur la pollution sous-marine consécutive au naufrage du pétrolier *Erika*, en décembre 1999. Parfois, le hasard permet aussi d'identifier des pollutions inattendues. Ainsi, en 2018, Jean-Alix Barrat, géologue spécialiste des micrométéorites, a mis au jour un

lien entre la prescription de contrastants IRM aux patients de l'hôpital de Brest et la présence de gadolinium, métal faisant partie des terres rares, dans les coquilles Saint-Jacques de la rade.

De la forme à la croissance

Pour Laurent Chauvaud, cela ne fait aucun doute : mollusques et coquilles constituent un trésor scientifique dont il faut prendre soin. En témoigne la « *pectothèque* » comme l'appelle le chercheur, bien à l'abri dans les caves de l'Université. « *Trente années de coquilles Saint-Jacques y sont aujourd'hui archivées. Autant d'indicateurs fiables, et journaliers, de leur croissance, de la température de l'eau, de la variation du phytoplancton !* » Leur archivage pourrait aussi ouvrir de nouvelles voies. Développant de nouveaux modèles mathématiques, Jennifer

▲ Plongeur lors d'une mission au Groenland, en 2018.
© E. Amice/Lemar/CNRS Photothèque

Coston-Guarini les étudie par exemple pour comprendre le lien entre la forme des coquilles et la croissance. « *La coquille n'est que temps qui passe* » : un chercheur écossais, D'Arcy Wenworth Thompson, a érigé cette idée en loi fondamentale. Mais pour la chercheuse, il n'avait pas pris en compte les contraintes de l'environnement, omettant que la forme, elle aussi, témoigne des propriétés des environnements côtiers dans lesquels les individus grandissent. Autrement dit, après la distance entre les stries et la composition chimique, les scientifiques pourront peut-être bientôt déduire des informations environnementales de la forme d'un mollusque !

Le chant des mollusques

Mais ce n'est pas tout : les scientifiques scrutent aussi les modifications comportementales entraînées par des stress environnementaux. À commencer par les mouvements des mollusques... Ces derniers se voient par exemple équipés d'accéléromètres, semblables à ceux de nos téléphones portables, bricolés grâce à des Lego fixés sur la coquille, et qui enregistrent les déplacements du bivalve à chaque seconde. Pour moins « déranger » l'animal, les chercheurs ont eu l'idée de déployer des hydrophones. Tels des paparazzis en quête de sons indiscrets, ils souhaitent capter, sous l'eau, le bruit des mouvements des animaux, plutôt que les mouvements eux-mêmes. Aujourd'hui, les plongeurs du LIA BeBest tendent leurs micros pour encore mieux observer la faune sous-marine. Et font

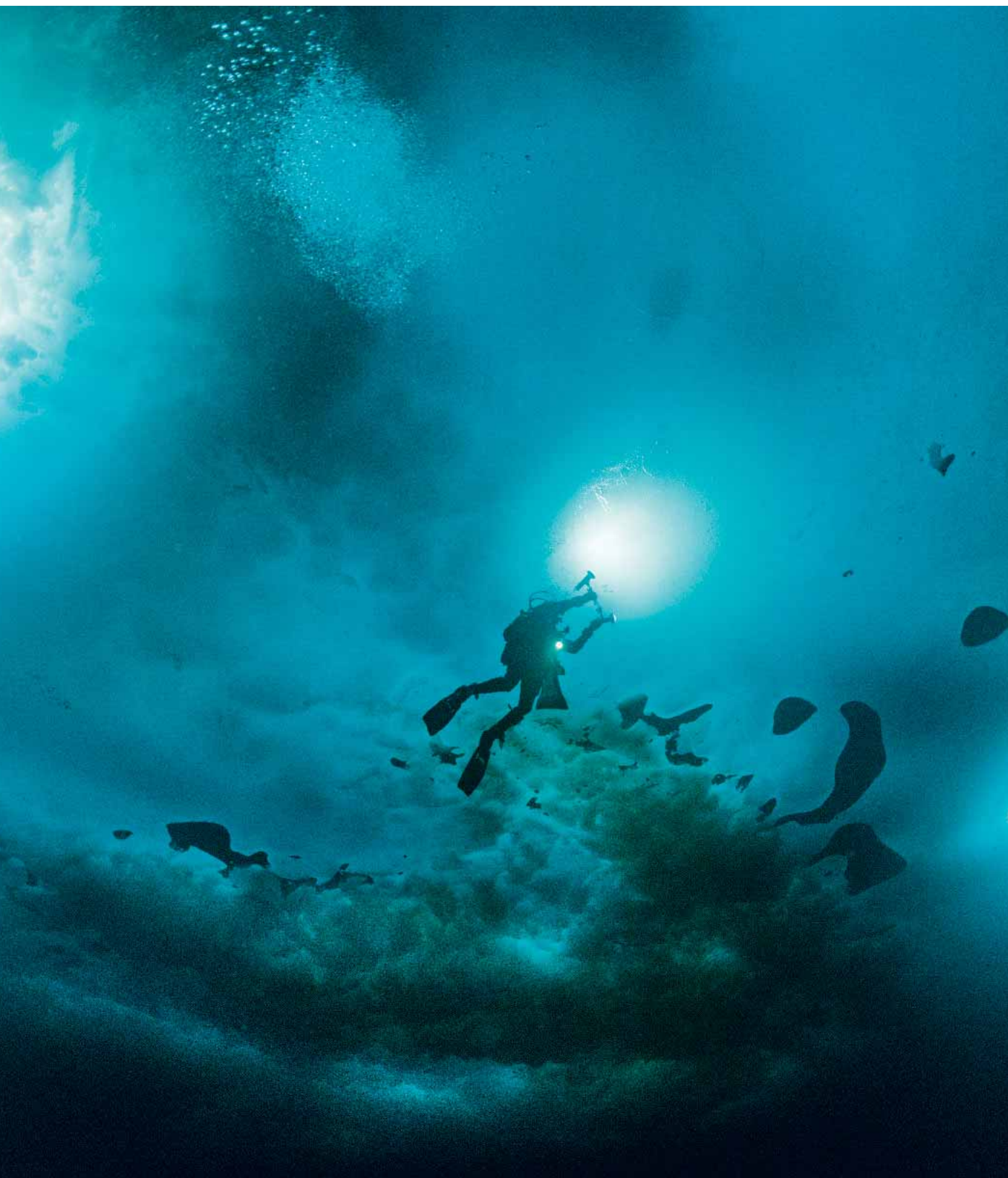
écouter au visiteur l'étrange chant des homards et langoustes, morses, mollusques et oursins...

Cette nouvelle approche trouve écho auprès d'autres pêcheurs, cette fois de la baie de Saint-Brieuc, dans les Côtes-d'Armor, où les coquilliers s'inquiètent : quels seront les impacts, sur la ressource, du parc éolien de la société Ailes Marines ? « *Le programme IIMPAIC étudie les effets acoustiques complexes des battages de pieux sous-marins sur le recrutement des larves dans la colonne d'eau* », explique Frédéric Olivier, chercheur du Muséum national d'histoire naturelle, au sein du laboratoire Biologie des organismes et écosystèmes aquatiques⁶, associé au LIA BeBest.

Pour cela, ce spécialiste de l'analyse des lipides (acides gras essentiels dont les bivalves se repaissent) a installé une batterie de haut-parleurs dans l'écloserie du Tinduff à Plougastel-Daoulas, près de Brest, avant de scruter les retards de croissance des naissains de coquilles Saint-Jacques. L'idée a fait des émules. Qui pointent dorénavant leurs hydrophones dans de nombreuses directions. « *De la rade de Brest, il sera bientôt possible de dessiner un paysage sonore sous-marin* », promet Laurent Chauvaud, un sourire aux lèvres.

Un peu à l'étroit dans son bureau dont le luxe est de donner à contempler la houle de noroît (vent du nord-ouest) dans le goulet de Brest, le benjamin du LIA BeBest, Youenn Jézéquel, défriche des pans entiers de la recherche en acoustique passive, forçant au passage







le respect de l'un des pionniers en la matière, Jelle Atema, du laboratoire américain de Woods Hole où réside aussi un ami du groupe, Julien Bonnel. Youenn Jézéquel pointe ses hydrophones vers les sons à basses fréquences (100 Hz) émis par les homards... Et décrit avec passion le son étourdissant, pour ses proies, de la crevette pistolet.

À la croisée des regards

Mais pour Laurent Chauvaud, le travail du scientifique ne doit pas s'arrêter là. Sa mission est bien sûr de transmettre mais aussi d'alerter les citoyens des changements, des risques en cours. Le dé clic se fait durant une plongée polaire où il est saisi d'effroi. « *L'effroi devant la certitude de la catastrophe* », précise-t-il. Comment, pour un scientifique qui n'en a pas l'habitude, trouver les mots, dépasser son inconfort

émotionnel, raconter sa stupeur devant l'énormité d'un changement climatique? « Pleine mer », une exposition de l'agence Magnum Photos, lui apporte une réponse: « *Tout ce que je cherchais alors à exprimer était présent, sous mes yeux, dans une photographie de Jean Gaumy!* » C'est pour lui une révélation : des artistes doivent partager leurs missions scientifiques. Depuis sept ans, avec la société Fovearts, qui assure la direction artistique et le pilotage de ces résidences, les scientifiques du LIA BeBest emmènent, au Groenland, au Spitzberg, à Saint-Pierre-et-Miquelon, tantôt les photographes Jean Gaumy et Benjamin Deroche, tantôt les plasticienne Sandrine Paumelle et Emmanuelle Léonard, tantôt le vidéaste Jean-Pierre Aubé ou l'écrivain Jean-Manuel Warnet. Qui écrit dans *Avant la débâcle*⁷ : « *On ne veut pas être happé par*

► Une amande de mer, entre science et art...

© E. Amice/LEMAR/CNRS Photothèque

l'eau glacée. Alors, on lève le regard sur l'immensité du vide. On avale la lumière. Le silence est bleu. » Laurent Chauvaud est formel : « *Les artistes partagent le terrain d'expérience et d'humilité des scientifiques.* » À Brest, à partir de juin, une grande exposition permettra au grand public de découvrir ces recherches grâce aux images, aux installations et aux créations sonores de ces artistes (*lire ci-contre*). Et de changer notre regard sur ces précieux témoins qui peuplent les littoraux et les fonds marins du monde entier. ↴

[1] Au carrefour des sciences de l'ingénieur et de celles de l'environnement, le LIA BeBest associe des chercheurs de toutes les disciplines, des entreprises privées et des artistes. S'appuyant sur la collaboration entre le CNRS, pour la France, et l'Ismer, pour le Québec, et sur leurs réseaux de partenaires, il s'insère dans le cadre de l'Institut maritime France-Québec avec le soutien du CNRS et de l'Université de Bretagne occidentale (UBO), et met en commun les moyens de recherche, les savoir-faire et les capacités de formation de deux groupes de recherche, canadien (Ismer-Uqar, à Rimouski) et français (IUEM-UBO, Lemar, à Brest).

[2] Unité CNRS/UBO/IRD/Ifremer.

[3] Cet effet de thermocline a été étudié, puis modélisé, à Saint-Pierre-et-Miquelon, par l'océanographe et physicien, Pascal Lazure, chercheur de l'Ifremer, au sein du Laboratoire d'océanographie physique et spatiale, associé à BeBEST.

[4] Atome qui possède le même nombre d'électrons et un nombre différent de neutrons.

[5] Élément présent à l'état de trace dans le sol, appartenant à un ensemble comprenant des métaux (cadmium, cuivre, mercure, plomb...), ou des éléments non métalliques (arsenic, fluor), ou des oligo-éléments.

[6] Unité CNRS/MNHN/Sorbonne-Université/Université de Caen Normandie/IRD.

[7] *Avant la débâcle*, Jean-Manuel Warnet, Éditions autonomes, 2018.

Arctic Blues : les pôles s'exposent à Brest

Cet été, les Ateliers des Capucins à Brest accueillent l'exposition Arctic Blues, construite autour des missions aux pôles de l'équipe du LIA BeBest¹. Les recherches de l'équipe de Laurent Chauvaud, directeur de recherche au Laboratoire des sciences de l'environnement², y seront mises en récit au travers des œuvres des artistes qui accompagnent les chercheurs sur le terrain depuis de nombreuses années. Les visiteurs pourront ainsi admirer les photos de Jean Gaumy, de Benjamin Deroche et d'Erwan Amice, plongeur au CNRS, ou encore la vidéo de Jean-Pierre Aubé. Au cœur de cette exposition, un dôme spectaculaire, immersif, plongera le visiteur dans les créations sonores et visuelles réalisées par trois musiciens, Maxime Dangles, Vincent Malassis et François Joncour. Ce projet est réalisé en collaboration avec La Carène, scène des musiques actuelles de Brest. Le CNRS, aux côtés des Ateliers des Capucins, de Brest Métropole et d'autres institutions, est partenaire de cet événement, dont le commissariat est assuré par Emmanuelle Hascoët.