

LUM

N°18
OCT 2022 /
JANV 2023

Le magazine science et société de l'Université de Montpellier

› Un océan
de savoirs

Édito

Un océan de recherche

La planète Terre est recouverte à 72 % par les océans. Un monde peuplé de dizaines de milliers d'espèces vivantes qui fournit à lui seul 70 % de notre oxygène, et absorbe chaque année des milliers de tonnes de CO₂. De la surface aux abysses, des plages à la haute mer, l'océan est un vaste terrain de recherche pour les scientifiques qui en explorent toutes les dimensions. Biologistes bien sûr, mais aussi géologues, informaticiens, économistes, chercheurs en mécanique ou encore en science politique, toutes les disciplines dialoguent pour mieux comprendre et mieux protéger ce milieu et ceux qu'il abrite.

Ce nouveau numéro du magazine *Lum* vous propose de les accompagner dans leurs missions et explorations. Explorer, c'est d'ailleurs le thème de la première rubrique de ce numéro où les chercheuses et chercheurs de l'Université de Montpellier et de ses partenaires vous emmènent recenser la faune arctique, traquer les failles sous-marines, fouiller les épaves antiques ou déguster un bon poisson sur la Lune. L'océan, c'est aussi une source de nourriture exploitée et parfois même surexploitée



par l'homme. Comment utiliser durablement ces ressources afin de concilier alimentation, économie et préservation de la biodiversité dans un contexte où les pressions sont toujours plus fortes ? C'est le défi abyssal auquel s'attellent les scientifiques, dans le souci perpétuel de faire dialoguer science et société.

L'océan, c'est enfin un écosystème encore mal connu que les chercheurs étudient pour mieux le protéger à l'image des tortues suivies par biologging ou des coraux qui subissent de plein fouet le réchauffement des eaux. C'est aussi l'habitat de celles et ceux qui vivent à proximité des côtes et dont toute l'existence est ou sera bouleversée par la montée des eaux, un phénomène qui doit être pris en compte dès aujourd'hui pour mieux s'en protéger.

Forts de toutes leurs disciplines et de l'attention toute particulière qu'ils portent à les faire dialoguer, l'Université de Montpellier et ses partenaires sont en pointe pour aborder la diversité des enjeux propres aux océans.

Je vous souhaite une bonne lecture de ce dix-huitième numéro du magazine *Lum*.

Philippe Augé,
Président de l'Université
de Montpellier



Explorer

6

Mission Arctique

10

De la mer à la Lune

12

Sous les océans, la Terre

14

2 000 ans sous les mers



Habiter

16

Quand la mer monte

18

« La gestion des risques littoraux sera interterritoriale ou ne sera pas »

20

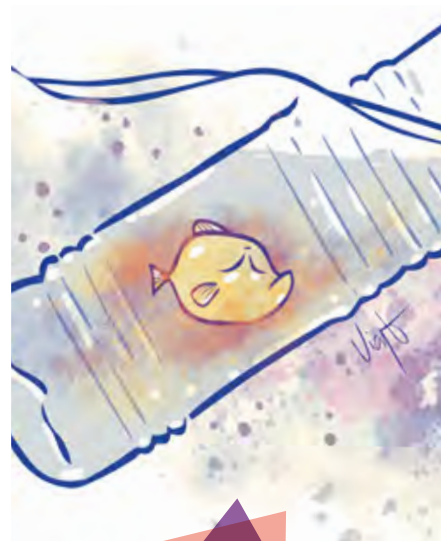
À la carte des tortues

21

Résistance corallienne

22

Arrêt au port



Nourrir

24

Vers une pêche durable

26

Le plastique c'est dramatique

28

Retour vers le futur des écosystèmes marins

30

Thau, miroir du futur



6

Mission Arctique

10

De la mer à la Lune

12

Sous les océans, la Terre

14

2 000 ans sous les mers



#umontpellier

Lum - magazine de l'Université de Montpellier

163 rue Auguste Broussonnet - 34 090 Montpellier - www.umontpellier.fr

Directeur de publication // Philippe Augé

Réalisation // Direction de la communication - communication@umontpellier.fr

Rédactrice en chef // Aline Périault - aline.periault@umontpellier.fr - tél. : 04 34 43 31 89

Rédaction // Lucie Lecherbonnier, Aline Périault, Magali Reinert

Conception graphique et mise en page // Caroline Macker, Thierry Vicente

Illustrations // Thierry Vicente

Impression // JF Impression - 96 rue Patrice Lumumba - 34 075 Montpellier

Tirage // 6 000 exemplaires - **Dépôt légal** // Octobre 2022 - **ISSN** // 2431-1480

EXPLORER

Mission Arctique

2000 kilomètres dans la mer de Baffin pour relier la communauté inuite de Grise Fiord à Saint Pierre et Miquelon. C'est le voyage hors du commun entrepris par Loïc Sanchez à bord de Vagabond, un voilier de 15 mètres commandé par l'explorateur chevronné Eric Brossier.

Une expérience unique pour le jeune doctorant du laboratoire Marbec. Sa mission ? Prédire le changement des aires de répartition des espèces de poissons marins. « *Nous voulons savoir si, avec le changement climatique, des espèces que l'on trouvait auparavant ailleurs se trouvent désormais dans cette zone* », précise Loïc Sanchez. Si les scientifiques disposent déjà de nombreuses données, le jeune chercheur pointe en effet des « *trous dans la raquette* ».

« *Il existe des zones très sous-échantillonnées et les pôles en font partie, ce sont pourtant des données cruciales car les effets du changement climatique y sont particulièrement intenses.* » Et les données dont les scientifiques disposent jusqu'à présent sont majoritairement issues d'observations directes en plongée. Une méthode qui a ses limites : « *on peut par exemple passer à côté des espèces très craintives qui vont se cacher des plongeurs ou encore des espèces trop petites qui sont difficiles à observer* », explique Loïc Sanchez.

Pour débusquer ces timides, et combler les trous dans la raquette, Loïc Sanchez utilise la technique de l'ADN environnemental qui consiste à filtrer des échantillons d'eau afin de récupérer l'ADN qui y a été laissé par les organismes vivants. Cet ADN est ensuite comparé avec les données issues d'une base de référence afin de savoir à quelles espèces il se rapporte. « *Nous pourrions ainsi évaluer l'apport de l'ADN environnemental pour la détection d'espèces supplémentaires* », explique Loïc Sanchez.

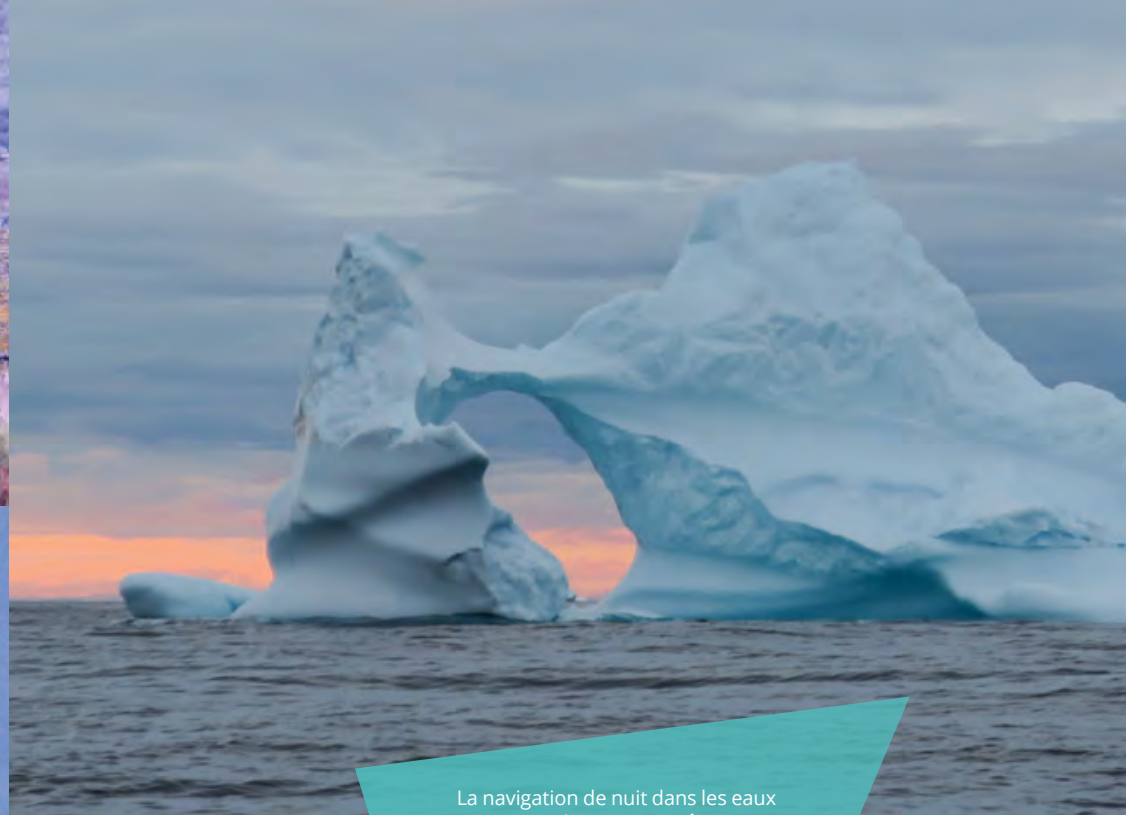
Le doctorant a ainsi réalisé une trentaine de prélèvements tout au long de son parcours, « *des données qui valent de l'or car jusqu'à présent il n'y avait jamais eu de prélèvement là-bas* ». De retour à terre, ils sont envoyés pour analyse à la start-up Spygen afin de révéler quelles espèces peuplent les eaux de cette mer bordant l'océan Arctique. « *Ces informations permettront de prédire les changements d'aires de répartition des poissons selon plusieurs scénarios de changement climatique* ». AP

*Marbec (UM, IRD, CNRS, Ifremer)





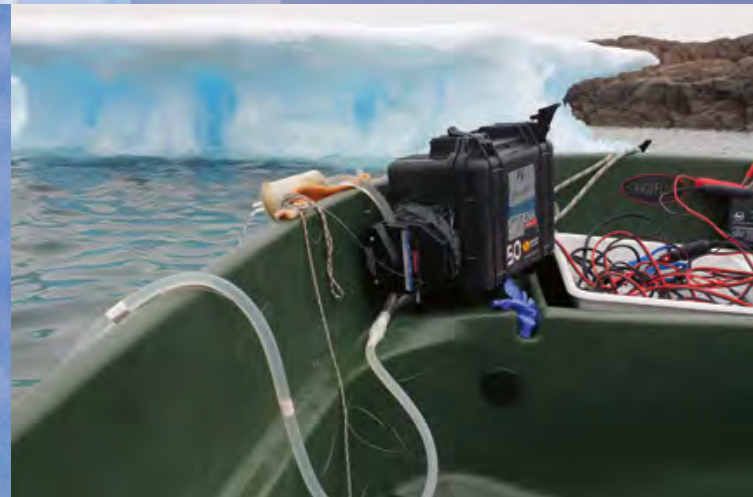
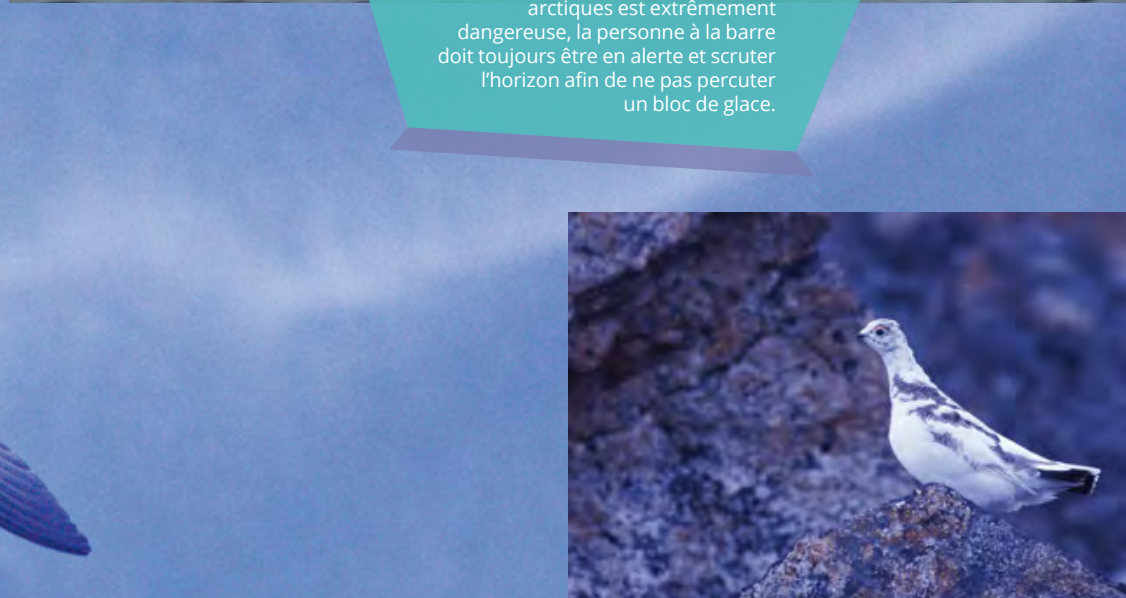
Voilier de 15 m capable de naviguer dans les eaux glacées, le Vagabond a été l'hôte de très nombreux scientifiques lors d'expéditions polaires.



La navigation de nuit dans les eaux arctiques est extrêmement dangereuse, la personne à la barre doit toujours être en alerte et scruter l'horizon afin de ne pas percuter un bloc de glace.



Les assemblages d'espèces de poissons marins dans l'Arctique sont mal connus. Pouvoir prélever dans ces régions est une opportunité sans égal afin d'étudier leur répartition.





Déguster un aïoli de morue avec vue sur le lac de la Félicité... Une scène digne d'un roman de science-fiction qui pourrait, un jour, devenir réalité grâce aux travaux de Cyrille Przybyla. Sa mission : développer un système d'aquaculture autonome en circuit clos pour augmenter la sécurité alimentaire sur Terre, quitte à décrocher la Lune.

De la mer à la lune

En 2015 les astronautes de la station spatiale internationale dégustaient la première laitue cultivée dans l'espace. Depuis, radis, blé et même piments ont pris racine à plus de 400 000 kilomètres d'altitude. Un luxe quand la majorité de la nourriture disponible à bord est irradiée, lyophilisée ou en conserve, mais pas de quoi se rassasier non plus, surtout dans la perspective de futurs missions sur la Lune.

Alors comment assurer à ces astronautes leur ration de protéines notamment animales, de vitamines et d'oméga-3 ? Grâce au poisson ! Sauf qu'à moins d'une pêche miraculeuse, il y a peu de chance d'en apercevoir la queue dans la Mer de la Sérénité. C'est pour répondre à cette problématique lunaire que Cyrille Przybyla, biologiste marin au laboratoire Ifremer L-3AS, membre du laboratoire Marbec* et spécialiste de l'aquaculture multi-trophique intégrée (AMTI), a sorti ses mains de l'eau pour les tendre vers le ciel. « Moi je travaille sur le terrestre. Mon objectif est de réussir à élever des poissons en circuit clos en y intégrant plusieurs organismes d'où le terme multi-trophique. C'est un peu le même principe qu'un potager en permaculture. »

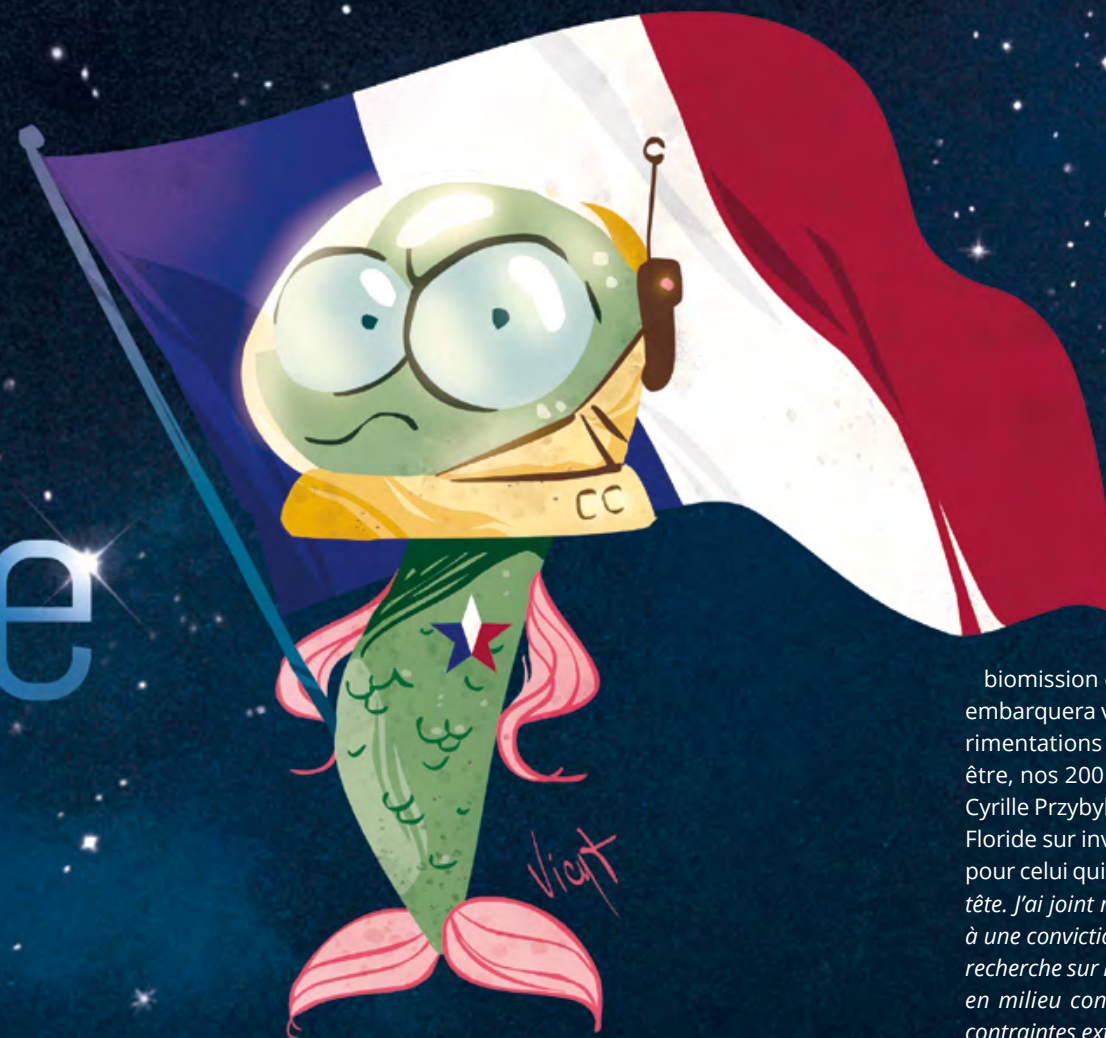
Tout se transforme

Dans ce circuit clos et contrôlé, « rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme » aurait pu déclarer une seconde fois Lavoisier. « Le mot-clé ici est circularité, explique le biologiste, tout ce qui est émis par le poisson sous forme solide et liquide doit pouvoir être récupéré et valorisé en le faisant convertir par d'autres organismes. » Ainsi les vers ou concombres de mer seront utilisés pour dégrader les fèces des poissons tout en constituant une potentielle source de nourriture pour ces derniers.

Le CO₂ rejeté par les poissons, comme l'ammoniac dégagé par leur système digestif, pourra servir de base à la culture de micro-algues. « Ces micro-algues, en plus d'épurer l'eau des bassins, pourront entrer dans la composition des repas et éviter ainsi de pêcher des poissons sauvages pour nourrir les poissons d'élevage. Et ça nous sommes les premiers à le faire » poursuit Cyrille Przybyla. Bref un système gagnant sur tous les plans : économies d'eau, réutilisation de molécules à haute valeur biologique, préservation de la biodiversité et enfin augmentation de la sécurité alimentaire mondiale.

Nourriture terrestre

« La FAO (Food and Agriculture Organization) est très intéressée par ce système biologiquement autonome qui peut donc constituer une excellente source nutritionnelle dans des zones isolées géographiquement ou dans des milieux pauvres et extrêmes. » Et quoi de plus extrême que la Lune ? Vibrations, hypergravité, microgravité, radiations... C'est toute une palette de tests que le chercheur, également titulaire d'un DU de mécanique céleste et diplômé de l'Université



sur l'ADN ? Bref, les petites larves que nous mettons au monde sont-elles viables dans un environnement lunaire ? » s'interroge le biologiste.

Autant de questions auxquelles il devra répondre avant 2032, date programmée de la prochaine biomission de l'Agence spatiale européenne qui embarquera vers la Lune près de 2 tonnes d'expérimentations biologiques parmi lesquelles, peut-être, nos 200 petits « fishonautes ». En attendant Cyrille Przybyla s'est envolé pour deux mois vers la Floride sur invitation de la Nasa. Une consécration pour celui qui avoue avoir « toujours eu cette idée en tête. J'ai joint ma passion pour l'exploration spatiale à une conviction et un savoir-faire issus de 20 ans de recherche sur les systèmes de production de poissons en milieu contrôlé. C'est en nous confrontant aux contraintes extrêmes de l'espace que nous relèverons les challenges terrestres. »

Spatiale Internationale, a dû mettre en place pour tester la résistance des poissons dans l'espace. Ou plutôt des œufs de poissons, « parce que ce qui coûte cher dans l'espace c'est le poids, or on peut mettre 200 œufs dans un petit cube de 10/10 cm là où il faudrait plus d'1 m³ pour envoyer 200 poissons adultes ».

Ce petit cube en question est un CubeSat élaboré en collaboration avec le centre spatial universitaire de Montpellier (CSUM) avec qui le biologiste collabore pour réaliser ces tests de simulation de décollage. « Nous avons exposé des œufs de bar à la même vibration que Soyuz pendant dix minutes, puis nous les avons ramenés à Palavas pour étudier la suite de l'embryogénèse. Au total 162 œufs ont éclos, soit les mêmes résultats que sur notre groupe test, cette première étape a donc été validée » raconte Cyrille Przybyla.

Objectif Lune

Pour tester la résistance à l'hypergravité, autrement dit une accélération de 1G à 5G, l'Agence spatiale européenne a financé la location d'une centrifugeuse et d'un simulateur de micro gravité. « Nous nous sommes basés sur la courbe d'accélération du décollage de Soyuz et nous n'avons constaté aucune incidence sur le taux d'éclosion des œufs. » Si les tests sur les radiations réalisés en collaboration avec l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sont encore en cours au commissariat à l'énergie atomique de Cadarache, les premiers résultats sont là-aussi encourageants, mais d'autres questions surviennent à chaque nouvelle étape. « Nous parvenons à faire éclore ces œufs mais nos poissons naissent-ils stressés ? Les radiations occasionnent-elles des dommages

« Nous avons exposé des œufs de bar à la même vibration que Soyuz »

*Marbec (UM, IRD, CNRS, Ifremer)

Sous les océans, la Terre

Et si les secrets de fabrication de la Terre se trouvaient sous la mer ? En mai dernier le géologue Benoît Ildefonse a participé à la campagne Arc-en-Sub organisée par la flotte océanographique française. Destination Rainbow, un dôme sous-marin formé sur la dorsale Atlantique dont la dynamique échappe encore aux chercheurs.

« En géologie marine on travaille sur les océans mais sans l'eau parce que ce qui nous intéresse, c'est ce qu'il y a dessous. »

Et pour aller creuser une fois de plus « ce qu'il y a dessous », Benoît Ildefonse a participé en mai dernier à la campagne Arc-en-Sub. 26 jours de mer à bord du *Pourquoi pas ?*, un des quatre navires de la flotte océanique française. « Nous étions une vingtaine de scientifiques à bord : des géophysiciens, des pétrologues, des gens qui s'intéressent aux cailloux, d'autres aux séismes mais uniquement des géologues » déclare le directeur de Géosciences Montpellier* qui ne compte plus les campagnes réalisées en mer depuis la toute première effectuée en 1997.

Et pour cette mission, cap sur le massif de Rainbow, un dôme sous-marin culminant à 1 500 mètres sous le niveau de la mer, situé sur la dorsale Atlantique à deux jours de mer à l'ouest des Açores. « Ce qu'on appelle les dorsales océaniques, c'est une chaîne de montagnes essentiellement volcaniques de 60 000 kilomètres de long, située entre environ 1 000 et 4 000 mètres de profondeur, et qui correspond aux limites des plaques tectoniques » explique le géologue. Des plaques qui peuvent s'affronter ou s'écarter à des vitesses pouvant varier d'un centimètre par an pour les plus lentes, comme la dorsale Atlantique, à quinze centimètres par an pour la plus rapide, dans l'est du Pacifique.

*GM (UM, CNRS)

Une usine à croûte terrestre

Véritables usines à fabriquer de la croûte terrestre grâce au magma qui s'échappe de leurs failles, les dorsales sont également des zones d'intense activité hydrothermale. « L'eau froide de l'océan va se glisser dans les failles et au contact du magma, se réchauffer à plusieurs centaines de degrés, poursuit Benoît Ildefonse. Quand cette eau, qui au passage s'est chargée d'un certain nombre d'éléments chimiques, atteint des conditions supercritiques, elle remonte et ressort sous forme de panaches. Des panaches qui, au contact de l'eau de mer plus froide et de composition chimique différente, précipitent des minéraux comme le manganèse ou des sulfures de fer. »

En plus de la biodiversité unique qu'elles abritent et du gisement de minerais précieux qu'elles contiennent, ces dorsales jouent un rôle capital dans le refroidissement de la planète. « On estime que le volume intégral de l'océan est recyclé dans cette circulation plus de 100 fois en 80 millions d'années. En une journée cela représente plus d'1 million de piscines olympiques ou 45 lacs du Salagou. »

Si le site de Rainbow est connu depuis 25 ans, son fonctionnement n'a pas encore été totalement décrypté par les scientifiques, d'où cette dernière mission. « La topographie du site correspond plutôt à celle d'une zone peu active sur le plan volcanique, pourtant nous constatons une activité hydrothermale qui implique la présence de poches de magma ponctuelles en dessous mais nous ne savons pas exactement où elles se trouvent » résume le chercheur. Autre élément : les scientifiques ont découvert à proximité de ce site à haute température, un site plus ancien à basse température avec des roches différentes. « Cela indique donc une variabilité géographique et temporelle de ce système que cette campagne visait à explorer. »

© Flotte océanographique française,
mission Arc-en-Sub

Changement d'échelle

Et pour y arriver les géologues ont remonté des profondeurs de la mer plus de 320 échantillons de roches et réalisé près de 200 heures de vidéos. Victor, un sous-marin téléopéré, et IdefX, un véhicule sous-marin autonome, ont également été utilisés pour réaliser une carte micro-bathymétrique de la zone à l'échelle de quelques centimètres, ainsi qu'une couverture photographique systématique du fond. « Cette cartographie détaillée nous a révélé des choses extraordinaires. L'exploitation des données et des échantillons va maintenant nous permettre de resituer tout cela dans un schéma intégré complet associant magmatisme, hydrothermalisme et tectonique » se réjouit Benoît Ildefonse.

Depuis leur retour de mission, les scientifiques font donc parler les échantillons dans la langue de leurs spécialités propres : composition et variabilité chimique, changements minéralogiques liés aux réactions avec les fluides hydrothermaux... Le géologue montpelliérain s'intéresse pour sa part à leur déformation en mesurant, au microscope électronique et sur des lames d'une épaisseur de 30 microns, l'orientation des cristaux. « Ces microstructures donnent des indications sur la température à laquelle ces roches se sont déformées » explique Benoît Ildefonse avant de conclure : « En géologie nous travaillons très souvent à toute petite échelle pour comprendre des dynamiques qui s'exercent elles, à très grande échelle. »



En mer avec la FOF

« La flotte océanographique française (FOF) est un outil que je connais bien, explique Benoît Ildefonse directeur de Géosciences Montpellier. Dans le paysage scientifique français, c'est ce qu'on appelle une très grande infrastructure de recherche comme le synchrotron Soleil ou certains télescopes. » C'est en 2000 qu'il monte pour la première fois sur l'Atalante, un des quatre navires hauturiers de la FOF qui opèrent sous la direction de l'Ifremer, du CNRS, de l'IRD et du réseau des universités françaises marines auquel l'Université de Montpellier appartient. Benoît Ildefonse préside depuis 4 ans la Commission nationale de la flotte hauturière de la FOF et participe à ce titre à la sélection et à l'évaluation des différentes campagnes menées. « J'adore être en mer. J'aime cette routine qui s'installe, le travail en quart, surtout le 4/8 (4h-8h/16h-20h) parce qu'on y voit les levers et les couchers de soleil. Les campagnes en mer sont toujours des aventures humaines extraordinaires. »

2 000 ans sous les mers

Tout se passe loin, très loin dans les profondeurs de la mer où gisent dans l'obscurité la plus totale les épaves naufragées de tempêtes antiques. Une petite masse cubique survole avec la légèreté d'un papillon des trésors soustraits au regard du monde il y a deux millénaires. Arthur, c'est son nom, est le premier robot entièrement conçu pour l'archéologie. Capable de descendre à 2 500 mètres de profondeur, il fouille, cartographie, filme, échantillonne...

A la lueur de la Lune

Pour trouver son concepteur remontons le câble qui le relie à l'Alfred Merlin, le navire du département des recherches archéologiques subaquatiques et sous-marines, le Drassm. Sur le pont, alors que seule la Lune éclaire les flots, que les dauphins et les calamars glissent en silence autour du bateau, Vincent Creuze, chercheur en robotique au laboratoire d'informatique, de robotique et de microélectronique de Montpellier (Lirmm*), peaufine les derniers réglages d'Arthur. Tout sera prêt au réveil des archéologues qui en ce mois d'août 2022, participent à la campagne de l'UNESCO visant à explorer d'anciens vaisseaux échoués dans le canal de Sicile.

Ce robot, voilà neuf ans qu'ils y travaillent avec Olivier Templier, ingénieur au Lirmm. Depuis que la Drassm leur a lancé le défi fou de concevoir en dix ans un robot capable de plonger à 2 000 mètres de profondeur pour investiguer, avec la délicatesse d'un archéologue, les quelques 200 000 épaves qui

Parce qu'il aimait la mer et les robots, Vincent Creuze a choisi la robotique sous-marine. Avec Arthur, il a conçu le premier robot au monde dédié à l'archéologie, capable de descendre à 2 500 mètres de profondeur pour en remonter 2 000 ans d'histoire. Portrait-robot d'un chercheur ancré au Lirmm pour mieux naviguer entre innovation et archéologie.

reposent au fond des eaux territoriales françaises. « Ensemble nous concevons tout, du robot au logiciel, en passant par les cartes électroniques. Une fois en mer, je dois être capable de tout maîtriser et de tout réparer » explique Vincent Creuze.

Un moment suspendu

C'est en 2014 que son premier robot archéologue voit le jour. Speedy, un engin de 75 cm par 40, muni d'une griffe spécialement conçue pour saisir et remonter les échantillons. « Quand les archéologues l'ont vu, ils étaient dubitatifs. Ils avaient imaginé un robot plus gros avec un bras articulé mais quand ils l'ont vu travailler, nous avons gagné leur confiance. » Léger, facile à piloter, rapide, délicat, ce prototype est une réussite mais il est volé dans le port de Marseille quelques semaines plus tard. « J'étais désespéré, se souvient le chercheur, heureusement j'avais réussi à financer un deuxième prototype. »

D'autres robots viendront : Leonard, Flipper, Basile, puis l'aboutissement avec Arthur, son Nautilus à lui. Le premier capable de descendre non pas à 2 000 mètres mais à 2 500 mètres, « et en 9 ans au lieu de 10 » s'amuse celui dont les travaux ont été récompensés par le prix de l'innovation de l'Université de Montpellier. Au fil des missions qu'il enchaîne, jusqu'à devenir un habitué de l'Alfred Merlin, le chercheur s'émerveille devant les cargaisons d'amphores, les flacons en verre finement ciselés et même des colonnes en pierre destinées à des temples que leurs dieux doivent encore attendre. Vincent Creuze lui n'attend plus, il savoure : « être aux commandes d'Arthur, c'est comme être soi-même au fond, c'est un moment suspendu, une émotion incroyable ». 

*Lirmm (UM, CNRS, Inria, UPVD, UPVM)



Écouter le podcast de l'émission À l'UM la science où Vincent Creuze nous parle des robots archéologues.



16
Quand la mer monte

18
« La gestion des risques littoraux sera interterritoriale ou ne sera pas »

20
À la carte des tortues

21
Résistance corallienne

22
Arrêt au port



C'est une réalité incontestable : la mer monte. À vue d'œil par endroits, ceux où la plage perd du terrain mètre après mètre et où les habitations avec vue sur mer se retrouvent parfois les pieds dans l'eau. Comment survient ce phénomène et comment mieux le gérer ? Explications avec le physicien des plages Frédéric Bouchette et l'économiste Hélène Rey-Valette.

QUAND LA MER MONTE

« Il va falloir repenser la ville dans sa globalité et envisager des logiques plus raisonnables »

© Cyril Fresillon / EPOC / CNRS Photothèque

Résilience littorale

6 millions de personnes vivent aujourd'hui dans les communes littorales. 9 millions en 2040 selon les prévisions du Cerema, le centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement. De plus en plus de monde, mais de moins en moins de place : entre 1950 et 2010, ce sont 27,7 km² de plages qui ont été perdus en France métropolitaine. En cause : l'érosion et la montée du niveau de la mer, liée notamment au réchauffement climatique. « Une hausse de 3,2 millimètres par an sur les 20 dernières années », précise Frédéric Bouchette, chercheur au laboratoire Géosciences Montpellier* et membre de Gladys, le réseau collaboratif dédié à la recherche académique en dynamique du littoral. « Cette montée des eaux entraîne a priori un recul de la ligne de rivage, ce qu'on appelle le trait de côte » précise le chercheur.

Ce déplacement du trait de côte n'est pourtant pas un phénomène systématique. « Le littoral montre une certaine résilience hydro-sédimentaire, c'est à dire une capacité des plages à s'adapter et/ou se reconstruire de telle sorte que les terres ne sont pas nécessairement condamnées à être envahies par l'eau de mer », explique Frédéric Bouchette. Sauf que... « Sauf que pour que cette résilience hydrosédimentaire littorale fonctionne, il faut qu'il y ait assez de sable et aujourd'hui ce n'est plus le cas. » En cause : principalement les aménagements littoraux, digues, ports, épis, qui bloquent les mouvements naturels du sable, et très accessoirement les barrages qui le retiennent en rivière. « Mais aussi les prélèvements sédimentaires massifs non régulés, ce sont des tonnes de sable qui sont prises dans la mer pour être utilisés dans le bâtiment, les transports, les infrastructures routières. » Sans compter l'urbanisation et les infrastructures construites trop proches du trait de côte et qui empêchent les plages de reculer naturellement.

Conséquence : le littoral n'est plus capable de s'adapter à la montée du niveau de la mer et en l'espace de 30 ans ce sont en moyenne 100 mètres que l'eau a grignoté sur les terres. « Des proportions anormalement élevées par rapport à ce qui a été observé par le passé », précise Frédéric Bouchette. Et dans le futur ? « Il y a une grosse part d'incertitude dans l'évolution du trait de côte, c'est même une des problématiques les plus complexes de la recherche sur les littoraux », précise le spécialiste qui insiste sur l'importance de la géophysique pour développer des outils de prédiction. « On fait des projections d'incertitude avec des méthodes proches de celles utilisées en finances. La complexité de la dynamique intrinsèque à la relation vague - sédiment rend les évolutions difficiles à prédire ; mais les modèles que nous développons permettent soit de donner des tendances, soit de comprendre certaines évolutions singulières comme la création des flèches sableuses. Ce sont des informations indispensables pour les décideurs du secteur », insiste Frédéric Bouchette.

Recomposition spatiale

Sensibiliser les gestionnaires côtiers pour anticiper les conséquences du changement climatique, c'est justement un volet des recherches d'Hélène Rey-Valette. « La mise en œuvre des politiques d'adaptation à la montée du niveau de la mer implique d'évaluer les différentiels de dommages avec et sans adaptation », explique la chercheuse du Centre d'économie de l'environnement de Montpellier (CEE-M)**. Avec l'économiste Cécile Hérivaux du BRGM, le Bureau de recherches géologiques et minières, elle a ainsi évalué à l'échelle de la région Occitanie les dommages et bénéfices à l'horizon 2 100 pour une augmentation de 1 mètre du niveau de la mer. Sans adaptation ? 77 000 habitants, 34 000 logements, 4 600 entreprises affectées. 11 500 hectares agricoles et 570 hectares de plage et dunes perdus. Mais aussi 4 aquifères potentiellement concernés par la salinisation, soit 7,5 millions de mètres cubes par an d'eau potable impactés. Alors que faire pour éviter d'en arriver là ? « Jusqu'à présent on a parlé de recul, de repli, de relocalisation, mais l'idée aujourd'hui c'est d'aller vers la recomposition spatiale »,

explique l'économiste qui y voit là un véritable changement de paradigme impliquant d'apprendre à vivre avec le risque. « Pourtant nos enquêtes montrent que les habitants du littoral n'en prennent pas la mesure, notamment à cause de ce qu'on appelle le biais d'optimisme qui fait que ceux qui bénéficient des avantages de vivre près de la plage minimisent le risque. Il faut étudier les perceptions pour renseigner les élus et les aider à mieux se rendre compte de là où en est la population. »

Opportunité

1 million de personnes vivent aujourd'hui sur le littoral, une population directement concernée par la recomposition spatiale qui impliquera de déplacer certains quartiers mais surtout de repenser les territoires en tenant compte de l'ensemble des enjeux et conséquences du changement climatique. « Par exemple concernant l'artificialisation, l'imperméabilisation, les mobilités douces, les enjeux énergétiques, les îlots de chaleur », complète Hélène Rey-Valette. Mais relocaliser pour aller où ? « Il faudra mettre en œuvre une collaboration avec les communes rétro-littorales qui vont faire face à un afflux de population et vont devoir notamment redimensionner la ville, ses écoles, ses infrastructures.

Ceux qui devront se déplacer vont perdre aussi leur quartier, leurs amis, c'est une situation complexe », reconnaît Hélène Rey-Valette. C'est là qu'intervient la chercheuse pour proposer des solutions afin que ces politiques soient faisables du point de vue économique et social. Mais aussi pour trouver le bon tempo : « en termes d'acceptabilité on préconise d'amener à un changement progressif, mais le GIEC nous dit bien que nous n'avons pas le temps, il faut donc aider les élus à mettre en place des politiques adaptées tout en étant les plus progressives ».

Pour l'économiste, c'est une véritable mutation en perspective : « Il va falloir repenser la ville dans sa globalité et envisager des logiques plus raisonnables et plus concertées. De ce point de vue le changement climatique peut aussi être vu comme une opportunité pour repenser nos modes de vie, mais il ne faut pas rater le train. » 

*GM (UM, CNRS, U Antilles)

**CEE-M (UM, CNRS, Inrae, Institut Agro)



© Romain Gallet

La gestion des risques littoraux sera interterritoriale ou ne sera pas

Dans le golfe du Lion 25 % des côtes sont en érosion. Ce phénomène massif, qui s'accompagne de risques de submersion marine, questionne les rapports interterritoriaux notamment à Montpellier où la recomposition spatiale ne pourra se faire sans dialogue entre métropole et communes littorales. Explications avec les chercheurs en science politique Sylvain Barone* et Laura Michel** auteurs de l'ouvrage *Métropole et risques littoraux*.

Cette étude « Popsu » (plate-forme d'observation des projets et stratégies urbaines) a été menée en collaboration avec la métropole de Montpellier. Quelles sont les spécificités politiques de ce territoire ?

S.B. : Les politiques de gestion des risques littoraux insistent sur l'importance d'un aménagement pensé à une échelle plus large que la plage. Montpellier en tant que métropole est centrale dans cette équation mais d'un point de vue institutionnel, elle ne compte qu'une commune directement littorale, Ville-neuve-lès-Maguelone. Les autres communes littorales de l'aire urbaine font partie de l'Agglomération du Pays de l'Or (POA). Les risques littoraux ont longtemps été un impensé politique pour Montpellier. Ce n'est plus le cas.

De quelles compétences relèvent ces risques ?

L.M. : Le risque de submersion reste une affaire d'Etat. L'érosion, elle, est considérée comme un risque naturel progressif pouvant être anticipé à travers les politiques d'aménagement local. Elle est donc en grande partie renvoyée à la responsabilité des acteurs locaux. Avec la loi climat et résilience, les communes concernées par le recul du trait de côte devront intégrer une cartographie des zones en érosion dans leur plan d'urbanisme avec des conséquences en termes de constructibilité.

Il n'existe aucun dialogue entre la métropole et les communes littorales sur ces questions ?

S.B. : Il y a un historique conflictuel entre Montpellier et ces communes mais il tend à s'apaiser. Une étude importante a été conduite sur l'avenir de la gouvernance du golfe d'Aigues-Mortes (GAM). Elle a été l'occasion d'un dialogue entre Montpellier et les intercommunalités voisines, mais aussi avec différents établissements publics, l'Agence de l'eau, l'Office français de la biodiversité... La gestion des risques littoraux sera interterritoriale ou ne sera pas.

L'Etat s'est complètement désengagé de la question de l'érosion ?

L.M. : Non, dans le cadre du Plan Littoral 21 la Région, l'Etat et la Banque des territoires accompagnent six territoires dans la mise en place de stratégies locales de gestion du trait de côte et de recomposition spatiale. Il s'agit de s'appuyer sur des formes de coopération existantes. Pour le golfe d'Aigues-Mortes, l'étude sert de marche-pied pour construire cette stratégie.

Elle pourrait prendre la forme d'une gouvernance commune ?

S.B. : Avec l'étude GAM les collectivités ont choisi un système de conventionnement qui repose sur l'accord de tous et permet d'avancer avec plus de souplesse. Une autre option aurait été une structure de type syndicat mixte mais cela implique un mode de décision à la majorité. Des collectivités minoritaires auraient pu être contraintes d'appliquer des mesures avec lesquelles elles n'étaient pas en accord.

L.M. : A l'échelle régionale, une forme de gouvernance possible était le groupe d'intérêt public mais les acteurs n'ont pas souhaité rajouter une couche dans le millefeuille de structures existantes. Mais on voit bien que cela avance, les acteurs participent aux ateliers, ils sont présents.

Il est parfois reproché à la métropole d'être un outil de mise en concurrence économique des territoires. Est-elle efficace sur les enjeux écologiques ?

S.B. : C'est une question légitime, mais à l'échelle locale aucune autre collectivité ne dispose d'autant de moyens et de compétences pour accompagner cette recomposition spatiale. Faut-il que la métropole décide et gère seule ? Non bien sûr. D'ailleurs, on est davantage sur des formes de gouvernance qui valorisent des rapports plus symétriques entre acteurs publics. Il sera intéressant au-delà d'inclure les citoyens, les associations, de faire vivre un espace public autour de ces questions.

N'y a-t-il pas aussi un décalage entre calendrier électoral et écologique ?

L.M. : Les questions d'adaptation aux risques impliquent de se projeter sur plusieurs décennies et d'avoir une approche intégrée qui dépasse l'urbanisme opérationnel à court terme. La métropole n'a pas forcément les outils pour inclure les citoyens sur des enjeux qu'on présente souvent comme techniques mais qui sont éminemment politiques parce qu'ils portent des choix qui vont peser très fortement sur les gens. Ce n'est pas facile pour un élu de dire à ses administrés qu'il va falloir déménager, ils ne doivent pas porter ces charges-là seuls.

*G-EAU (Cirad, AgroParisTech, IRD, Inrae, Institut Agro)

**CEPEL (UM, CNRS)

De quelle marge de manoeuvre dispose-t-on pour contrer ces risques littoraux ?

L.M. : Le changement climatique va entraîner l'élévation du niveau de la mer c'est irréversible. Mais les problèmes qui se posent aujourd'hui sont surtout dûs à l'aménagement massif du littoral et à l'exploitation des fleuves en amont. Il faut interroger le modèle d'urbanisation.

S.B. : Il faut aussi interroger le modèle touristique mais parler de recomposition spatiale à des campings ou à des hôtels en front de mer, c'est compliqué.

C'est un manque de volonté politique de la part des communes ?

L.M. : Elles sont sujettes à des injonctions contradictoires. On leur dit qu'il faut consommer moins d'espace, aller vers zéro artificialisation nette, tenir compte des risques etc. Mais on leur demande de produire du logement et leurs ressources sont largement basées sur l'urbanisation et le tourisme.

S.B. : Ce territoire est confronté à la fois à des enjeux extrêmement forts de densité de population, d'équipements, de grandes infrastructures, d'enjeux agricoles, de biodiversité et à des contraintes très puissantes avec des risques de submersion marine, mais aussi de ruissellement, de débordement de cours d'eau, d'incendie... Montpellier, c'est presque un cas limite, ce qui en fait un terrain de recherche passionnant. 

À LA CARTE des tortues

Tortues vertes ou tortues imbriquées, les îles françaises de l'océan Indien ont la chance de voir revenir chaque année sur leurs plages ces grandes migratrices. « La Réunion, Mayotte et les Iles Eparses sont des hot spots pour les tortues marines qui viennent se reproduire, avant de repartir s'alimenter ailleurs » explique Jérôme Bourjea, chercheur au laboratoire de biologie marine Marbec. Pour connaître l'adresse de leurs bonnes tables, dès 2010 les scientifiques ont équipé une centaine d'individus de balises Argos fixées sur leurs carapaces grâce à une résine époxy non chauffante, et les ont filées contre vents et marées pendant près d'un an.

Les tortues se cachent pour manger

« Les résultats étaient impressionnants, se souvient Jérôme Bourjea, nous avons pu les observer se répartir comme un feu d'artifice : Mozambique, Afrique du Sud, Seychelles, Madagas-

car, Kenya... Elles se déploient dans tout le sud-ouest de l'océan indien ! » Des informations précieuses pour la conservation de ces espèces menacées. « Cela nous permet de mieux gérer le patrimoine des tortues françaises en coopérant avec nos voisins chez qui elles migrent pour manger. »

Forts de ces premiers succès sur les adultes, les chercheurs ont utilisé le biologging pour

en apprendre davantage sur les tortues juvéniles qui se fixent sur les côtes et s'y alimentent pendant les dix premières années de leur vie. « Nous les voyons, mais restent-elles toujours au même endroit ? Tournent-elles autour de l'île ? Se mélangent-elles ? » questionne le biologiste qui cette fois a eu recours à des balises GPS pour affiner leur géolocalisation à 5 ou 10 mètres près.

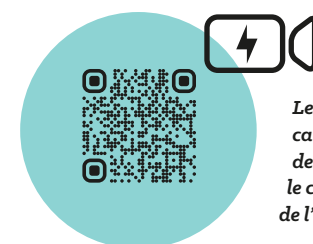
Tortue-réalité

Les données recueillies ont révélé différentes stratégies d'alimentation chez les juvéniles, en fonction des îles mais aussi en fonction des individus. « Certaines tortues sont très fidèles et vont utiliser un espace pas plus grand qu'un terrain de foot, sûrement parce qu'elles y trouvent une bonne alimentation explique le chercheur. D'autres sont plus exploratrices et changent de zones au bout de quelques semaines. »

Les indications GPS ont ensuite été croisées avec des cartographies des fonds marins telles que les zones d'herbier, d'algues rouges etc. « C'est intéressant mais le GPS ne nous permet pas de dire si les tortues mangent ou si elles dorment. Nous les avons donc équipées de caméras, mais avec une autonomie de seulement 2 heures par individu, ces données sont plus qualitatives que quantitatives. »

Sentinelle de l'environnement

Les images ont néanmoins apporté de nouvelles informations sur les stratégies alimentaires des tortues mais aussi sur leur comportement social. « On s'est aperçu qu'elles avaient des interactions sociales qu'on pensait jusque-là totalement inexistantes » explique Jérôme Bourjea qui rejoindra dans quelques jours Aldabra, une île vierge de l'océan Indien pour faire le lien entre alimentation, santé des tortues et environnement et démontrer « que les tortues peuvent être de véritables sentinelles de l'environnement ». 



Les images issues des caméras fixées sur la carapace des tortues ont permis de révéler des interactions insoupçonnées. Regardez le clip réalisé par les chercheurs sur le site de l'UM.

* Marbec (UM, IRD, CNRS, Ifremer)



© Jérôme Vidal-Dupiol

Résistance corallienne

Parce qu'on protège mieux ce que l'on connaît bien, les chercheurs plongent dans le génome des coraux afin d'identifier ce qui confère à certains d'entre eux une résistance à la température bien utile en ces temps où celle de l'eau ne cesse de grimper.

Plus de 25 % des récifs coralliens sont morts au cours des trente dernières années. La cause de cette hécatombe ? « L'augmentation de la température de l'eau », répond Jérémie Vidal-Dupiol, chercheur au laboratoire Interactions hôtes - pathogènes - environnement*. Car le corail, ce drôle d'animal, vit en symbiose avec les zooxanthelles, des algues unicellulaires qui fournissent aux coraux de l'oxygène et des nutriments en échange du gîte et du couvert qu'ils leur offre. « Mais lorsque la température augmente il n'y a plus de symbiose, le corail perd ses zooxanthelles, c'est ce qui entraîne son blanchissement. » Un phénomène qui affaiblit considérablement le corail et augmente sa mortalité.

Selon une étude publiée par l'Unesco en 2017, si le réchauffement des océans se poursuit au rythme actuel, les récifs coralliens pourraient disparaître à l'horizon 2050 des suites de ce stress thermique. Alors comment faire pour préserver cette biodiversité unique ? « On adopte des mesures de protection, on fait même de la restauration en bouturant des coraux pour les transplanter ailleurs, mais pour l'instant tout cela se fait sans optimisation », explique Jérémie Vidal-Dupiol. Pour rendre ces mesures plus efficaces, le chercheur mise sur l'épigénétique. L'idée : identifier grâce à des données de séquençage les biomarqueurs épigénétiques des individus les mieux entraînés au stress thermique et donc qui résistent le mieux aux hausses de température. « Car ces coraux thermo-tolérants sont ceux qui affronteront le mieux le réchauffement climatique », précise le spécialiste.

*IHPE (CNRS, Ifremer, UPVD, UM)

Score de tolérance à la température

Pour débiter ce projet ambitieux, pertinemment nommé SAVE, cap sur la Nouvelle-Calédonie, les îles Fidji et Tahiti, en immersion avec les chercheurs qui ont prélevé des coraux et leurs zooxanthelles pour les soumettre ensuite en laboratoire à un stress thermique « écologiquement réaliste ». Au terme d'un mois et demi de suivi, chaque individu se voit attribuer un score de tolérance à la température. « Nous identifions ensuite les biomarqueurs génétiques, épigénétiques et transcriptomiques de ces coraux et de leurs symbiotes. » Des données précieuses pour les projets de restauration car elles permettront de miser sur les individus ayant les meilleures capacités adaptatives, qui ont donc les meilleures chances de survie. « Des informations indispensables également pour la biologie de la conservation et la gestion des écosystèmes car elles permettront de mieux identifier les zones à protéger », complète Jérémie Vidal-Dupiol.

Pour accompagner les gestionnaires dans cette mission, les chercheurs travaillent d'ailleurs en collaboration avec le laboratoire Sys2Diag sur une idée révolutionnaire : « mettre au point sur la base de ces résultats un test rapide de thermo-tolérance qui leur permettra de déterminer facilement quels individus résistent le mieux au réchauffement ». Pour les récifs coralliens, la résistance s'organise. 

Arrêt au PORT

✓
Ce sont des petits bouts d'océans pas comme les autres, qui abritent des habitants pas comme les autres. Frédérique Viard, chercheuse à l'Isem, s'intéresse à la biodiversité des milieux portuaires, où les pressions sont fortes et les processus évolutifs quelquefois rapides.

Du béton, du bruit, de la lumière artificielle, des hydrocarbures ; une ambiance de périphérie qui décrit en fait... un port. « *Un habitat marin tout à fait singulier* », note Frédérique Viard. Un écosystème unique que la biologiste de l'Institut des sciences de l'évolution de Montpellier* scrute pour mieux savoir qui l'occupe. « *Les ports constituent un nouvel habitat marin urbanisé qui va favoriser l'installation d'assemblages originaux d'espèces adaptées à ces environnements particulièrement sélectifs* », souligne la spécialiste qui navigue entre écologie et biologie évolutive. Car ce milieu apparemment hostile représente un « *point chaud d'introduction* », où des espèces venues d'ailleurs débarquent pour y poser leurs valises. « *Un phénomène qui s'est accéléré au cours du 20^e siècle avec la mondialisation des échanges par voie maritime*, souligne Frédérique Viard. *Dans les ports on trouve aujourd'hui pour certains groupes taxonomiques jusqu'à 20 % d'espèces introduites contre bien moins de 1 % dans les écosystèmes naturels.* » Les eaux de ballast, la coque des navires marchands mais aussi des bateaux de plaisance, la moindre anfractuosité sur une embarcation est un refuge possible pour ces passagers clandestins. « *Les bateaux représentent de véritables îles flottantes, des scientifiques canadiens ont dénombré jusqu'à 175 espèces différentes sur la coque d'un seul navire marchand !* », souligne la biologiste.

Redistribuer les cartes

Une fois arrivés à bon port, ces espèces non indigènes se mélangent aux espèces locales, générant « *des assemblages hétéroclites d'espèces natives et introduites qui n'auraient jamais pu se constituer naturellement, et sans l'action de l'homme* ». Mais qui une fois réunies peuvent redistribuer les cartes de la richesse spécifique et de la diversité génétique. « *Certaines espèces sont des cousines éloignées d'espèces locales, séparées depuis des millions d'années, qui se retrouvent aujourd'hui ensemble dans les ports et qui parviennent parfois à se croiser, donnant*

Le port de La Seyne-sur-Mer
© Frédérique Viard

naissance à de nouvelles lignées », explique Frédérique Viard qui décrit par exemple l'union improbable de deux drôles d'animaux sous-marins qui n'étaient pas supposés se rencontrer : la cione d'Asie et sa cousine d'Europe qui peuvent produire des descendants hybrides. D'autres chercheurs ont également observé chez une espèce de poisson des gènes conférant une protection contre la toxicité des hydrocarbures, ce qui s'avère pour le moins pratique quand on vit en milieu pollué ; or ces gènes ont été transmis par une espèce proche introduite, chez laquelle cette adaptation était apparue auparavant.

Biodiversité en devenir

« *Ces changements peuvent être rapides, car dans les ports les pressions de sélection sont fortes et les populations génétiquement diversifiées* », souligne la biologiste. Des caractéristiques qui font des ports de véritables laboratoires à ciel ouvert pour les écologues et les biologistes de l'évolution. Et pour mieux identifier les nouvelles espèces introduites dans ces labos pas comme les autres, les chercheurs ont recours à l'ADN environnemental : ils récupèrent dans des échantillons d'eau de mer l'ADN qui y a été laissé par les organismes vivants et le comparent avec les données issues de bases de référence pour savoir à quelles espèces il se rapporte. « *De nombreux ports des façades Manche-Atlantique et Méditerranée ont ainsi été échantillonnés dans le cadre du projet MarEEE* », détaille Frédérique Viard pour qui les ports sont « *le creuset d'une nouvelle biodiversité en devenir* ». ^{AP}

*ISEM (CNRS, UM, IRD, Cirad, EPHE, Inrap)



Écouter le podcast de l'émission À l'UM la science où Nicolas Bierne nous parle de l'étrange faune sous-marine portuaire.



24
Vers une pêche durable

26
Le plastique c'est dramatique

28
Retour vers le futur des écosystèmes marins

30
Thau, miroir du futur



une pêche durable

« L'économie de l'environnement et la bio-économie apportent des éclairages importants »

Comment concilier l'exploitation et la préservation des ressources halieutiques ? C'est le principal défi rencontré aujourd'hui par le secteur de la pêche. Pour contribuer à le relever, les bio-économistes apportent dans leurs filets de précieux outils permettant de faire face à ce qu'on appelle la « tragédie des biens communs ». Explications avec Luc Doyen, chercheur au Centre d'économie de l'environnement de Montpellier.

85 millions de tonnes. C'est la quantité de poisson qui a été pêchée en mer en 2018 selon l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. Une quantité en stagnation depuis plusieurs décennies, malgré une pression de pêche croissante. En cause : une biodiversité marine à la baisse. « 35 % des stocks sont considérés comme surexploités, c'est-à-dire que les quantités de poisson pêchées ne permettent pas à la population de se renouveler » souligne Luc Doyen, économiste au CEE-M*.

Comment pêcher assez de poisson pour nourrir une population mondiale en pleine croissance et faire vivre la filière économique, tout en préservant les écosystèmes et la biodiversité marine ? « Une idée est de tendre à un rendement maximal durable en prélevant le "surplus" de poissons sans affecter la viabilité de la ressource, en la maintenant à l'équilibre à des niveaux stationnaires. Mais pour cela il y a trois dimensions, écologiques, économiques et sociales qui rentrent en tension et qu'il faut réconcilier », analyse le chercheur du CNRS.

*CEE-M (UM, CNRS, Inrae, Institut Agro)

Guerre du poisson

Car en mer, les poissons n'appartiennent généralement à personne, et c'est bien ce qui rend si compliquée la régulation de la pêche. « En économie on appelle cela la tragédie des biens communs : si les bancs de poissons sont des biens communs en accès libre, alors tout le monde peut les pêcher. Mais un poisson prélevé par un pêcheur n'est plus disponible ni pour les autres pêcheurs, ni pour la reproduction future de la ressource. » Conséquence : une véritable guerre du poisson où les pêcheurs ont tout intérêt à prélever le maximum et le plus vite possible, « et où celui qui a le plus de moyens pêche le plus ».

Pour éviter que cette « fish war » ne vide les océans, une politique de régulation de l'accès à la ressource est indispensable. « Les outils scientifiques de politique publique visant à réguler la pêche à l'échelle européenne ont vu le jour dans les années 1950 », explique le spécialiste de bio-économie. La PCP, politique Européenne commune des pêches, fixe des quotas de capture déterminés en fonction des études scientifiques sur l'état des espèces et leur reproduction. Puis les quotas qui concernent l'ensemble des eaux européennes sont ensuite répartis entre les pays puis les différentes organisations de pêcheurs concernées.

Mais si la gestion de la pêche relève des pays côtiers dans leur zone économique exclusive, soit jusqu'à environ 370 kilomètres de la côte, au-delà, c'est-à-dire dans la haute mer, la liberté de pêche prévaut. « Dans ces zones non régulées on fait ce que l'on veut, et pour éviter les dégâts de la course au poisson il faut une politique de coordination et de coopération entre les acteurs à l'échelle supranationale. »

Marché de quota

Car la pêche implique une grande hétérogénéité d'acteurs – pêcheurs, ONG, consommateurs, touristes – qui ne sont pas tous d'accords. « La politique publique est donc un levier capital pour préserver les ressources et l'apport de l'économie de l'environnement y est majeur et même précurseur. L'économie n'est pas hors sol, elle apporte ici des concepts, des méthodes d'évaluation pour établir des recommandations et des instruments pour opérationnaliser des stratégies et des objectifs. » Plusieurs types d'instruments issus de la recherche en économie ont ainsi été proposés pour faire face à cette tragédie des biens communs.

Des instruments réglementaires notamment : « comme par exemple les quotas de pêche ou encore les aires protégées qui ont pour but de limiter l'accès aux ressources ». Pour compléter ces dispositifs, il existe aussi des instruments financiers, tout ce qui relève des diverses taxes et des subventions, comme par exemple les taxes sur le débarquement des poissons ou sur le carburant.

« Un autre outil important concerne les marchés de quotas de pêche, explique Luc Doyen. Chaque pêcheur ou organisation de pêche reçoit un quota initial pour une espèce considérée basé par exemple sur son historique de pêche. Mais si un acteur veut pêcher plus que son quota initial et qu'un autre ne va pas utiliser tout le sien, on peut faire un transfert via un marché avec un prix de quota, à l'image du système communautaire d'échange de quotas d'émissions de gaz à effet de serre », détaille l'économiste.

Ces marchés de quotas de pêche sont largement utilisés en Nouvelle Zélande, mais en Europe pour l'instant c'est plutôt un système de troc qui prévaut. Si ce système de transférabilité des quotas est loin de faire l'unanimité parmi tous les acteurs de la filière, « il donne pourtant de la souplesse et permet ainsi d'améliorer la coordination des acteurs et l'efficacité globale de la régulation, ce qui va dans le sens d'une gestion plus durable des ressources halieutiques », argumente Luc Doyen.

Eco-labels

Autres outils proposés par les économistes : les éco-labels censés garantir au consommateur que le poisson qu'il achète a été pêché d'une manière responsable, dont le plus connu est le label MSC pêche durable. « De telles approches permettent d'aller vers des systèmes alimentaires durables en intégrant producteurs, consommateurs et ressources marines, du poisson à la fourchette - fish to fork. »

Dans un contexte où il n'est « pas toujours facile de faire dialoguer les écologues et les économistes », Luc Doyen pointe la nécessité de faire de l'interdisciplinarité. « L'économie de l'environnement et la bio-économie apportent des éclairages importants et les outils de gestion de la ressource proposés portent leurs fruits dans cette approche durable des pêches. La preuve : depuis 2013 on assiste à une amélioration globale des stocks européens. L'heure n'est pas au catastrophisme, mais beaucoup de défis restent à relever pour une approche durable, résiliente et écosystémique des pêches maritimes. » 



Surpêche, réchauffement climatique, acidification des eaux... Les temps sont durs pour les poissons qui sont de moins en moins nombreux à arpenter les océans. À ces menaces s'en ajoute une autre : le plastique. Des chercheurs ont exploré les effets de l'exposition aux microplastiques et montrent que ces toutes petites particules ont des conséquences sur la faune marine inversement proportionnelles à leur taille...

LE PLASTIQUE c'est dramatique

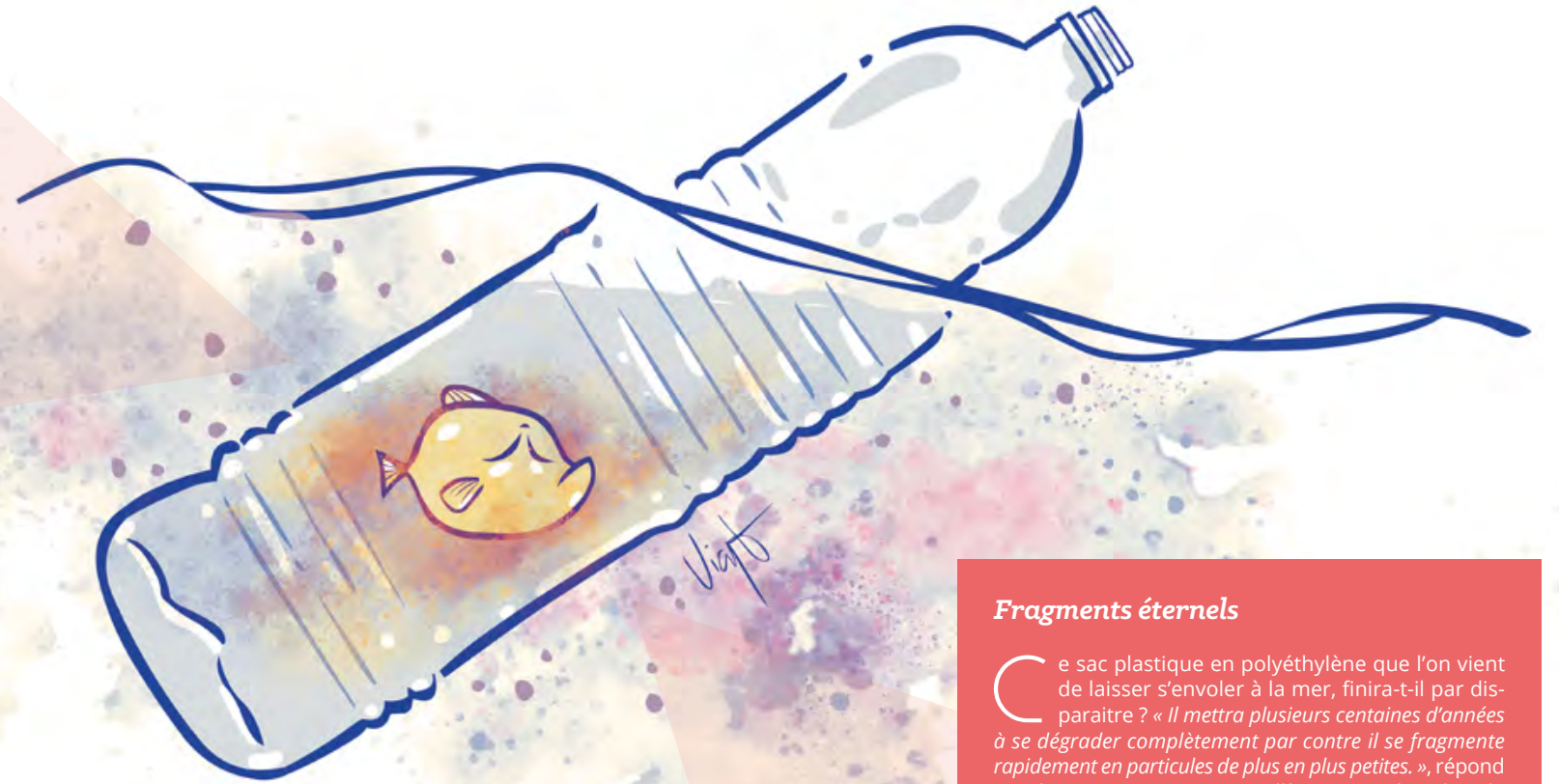
« Quand on pense à la pollution plastique on voit souvent les images de tortues ou de poissons étouffés par des gros débris, mais il y a un autre problème avec les plastiques : ils se dégradent en particules parfois à peine visibles, les micro et nanoplastiques qui peuvent avoir des effets sur le métabolisme des poissons, en partie dûs au fait qu'ils véhiculent des additifs et des polluants », expliquent Marie-Laure Bégout et Xavier Cousin, chercheurs au laboratoire Marbec*. Un cocktail de substances diverses parmi lesquelles l'acide perfluoro-octane sulfurique, utilisé comme retardateur de flamme dans les plastiques, le benzophénone-3, qui fait office de filtre UV dans les crèmes solaires ou encore le benzo(a)pyrène contenu dans des dérivés pétroliers. « Autant de polluants que l'on retrouve de la surface au fond de l'eau car ils sont présents sur des plastiques qui flottent comme le polyéthylène, mais aussi sur des plastiques plus denses qui coulent au fond de l'eau comme le PVC », précise Xavier Cousin.

Pour mieux cerner les conséquences provoquées par ces substances, les chercheurs ont exposé en laboratoire un poisson, le medaka marin, à des particules de plastique enrobées ou non de ces trois polluants. « Nous avons ainsi pu étudier leurs effets à des concentrations similaires à celles que l'on retrouve dans leur milieu tout au long du cycle de vie de l'animal », souligne Xavier Cousin.

Réduction de croissance

Premier constat : une réduction de la croissance des poissons de 20 à 35 %. « Ces effets sont bien plus importants au bout de 4 mois d'exposition qu'au bout de 2 mois, ce qui souligne l'importance de mener des études à long terme pour évaluer la toxicité des microplastiques », précise Xavier Cousin. Une réduction de croissance plus marquée chez les femelles, « probablement en raison de leurs besoins énergétiques plus élevés que ceux des mâles lors de la reproduction », complète Marie-Laure Bégout.

La reproduction, un processus qui semble d'ailleurs la cible privilégiée de ces perturbateurs. Les chercheurs ont en effet constaté que les femelles exposées pondent moins d'œufs, un phénomène qui peut entraîner jusqu'à 50 % de chute du taux de reproduction habituel. « Chez le medaka marin, l'exposition à presque tous les microplastiques induit un retard dans le déclenchement de la ponte et une diminution du nombre d'œufs produits par femelle et par jour », complètent les chercheurs. Ces derniers ont également constaté que les effets étaient variables selon le type de plastique et de polluant et pouvaient même affecter les larves de la génération suivante. « Lorsque les poissons sont exposés à un plastique de type PVC additionné de benzophénone-3, on observe des troubles du comportement chez la progéniture au stade larvaire. »



Évaluation des risques

Si toutes ces conséquences suffisent à conduire à de graves dysfonctionnements écologiques, les résultats de cette étude sous-évaluent encore probablement la réalité : « en laboratoire les poissons sont chouchoutés, mais dans leur environnement naturel ils sont exposés à d'autres pressions : prédation, pêche, autres polluants. La pollution microplastique vient s'ajouter à ces facteurs qui sont tous de nature à poser problème aux poissons », déplore Marie-Laure Bégout.

Chaque année, 8 à 10 millions de tonnes de plastique finissent dans les océans. 10 % flottent sous la forme de micro-déchets potentiellement vecteurs de polluants en tout genre. « Nous recommandons donc d'inclure ce mode de transfert de polluants dans l'évaluation des risques écotoxicologiques des microplastiques, concluent les chercheurs. Comprendre les mécanismes sous-jacents aux perturbations biologiques permettra également d'évaluer dans quelle mesure ces effets peuvent être généralisés à tous les types de microplastiques, afin par exemple de prioriser le contrôle des émissions. »

Fragments éternels

« Le sac plastique en polyéthylène que l'on vient de laisser s'envoler à la mer, finira-t-il par disparaître ? « Il mettra plusieurs centaines d'années à se dégrader complètement par contre il se fragmente rapidement en particules de plus en plus petites. », répond Matthieu George. Avec sa collègue Pascale Fabre, le chercheur du laboratoire Charles Coulomb** étudie les processus de dégradation de ces polymères. « Sous l'effet conjugué de l'eau, des UV et des contraintes mécaniques exercées par les vagues, un morceau de sac plastique mettra environ 10 ans à se dégrader en minuscules fragments, les fameux microplastiques de taille inférieure au millimètre », détaille Matthieu George. Hélas une fois cette taille atteinte le processus de fragmentation ne s'exerce plus et ces particules de plastiques peuvent persister pendant... une éternité. « On les trouve désormais absolument partout dans les océans, du Nord au Sud et du fond à la surface. Cette pollution invisible est bien pire que la pollution plastique visible, car ces microplastiques ne vont pas disparaître et on ne peut pas les récupérer dans l'eau », déplore le chercheur. Et les plastiques biodégradables ? « Ce n'est pas la solution miracle car le milieu océanique n'est pas du tout favorable à leur dégradation qui n'a lieu que dans des conditions très spécifiques », souligne Matthieu George. Alors comment faire pour déplastiquer les océans ? « Si certaines recherches sont en cours pour mettre au point de nouveaux matériaux, il n'y a pas de miracle à attendre, la seule solution c'est d'éviter que ces plastiques n'arrivent dans les mers et les océans en réduisant leur production mais aussi en améliorant la collecte des déchets », conclut le chercheur.



*Marbec (UM, IRD, CNRS, Ifremer)

**L2C (UM, CNRS)

RETOUR VERS LE FUTUR DES ÉCOSYSTÈMES MARINS



En étudiant la faune océanique de la dernière période interglaciaire au large du Pérou, des scientifiques comprennent que l'écosystème dominé aujourd'hui par des anchois pourrait à l'avenir devenir le paradis des gobies. Des résultats qui renversent les projections des modèles océaniques.

Comment les espèces marines vont-elles s'adapter au changement climatique ? C'est une question d'autant plus cruciale pour les écologues que le milieu océanique est particulièrement affecté par le réchauffement. Outre l'augmentation de la température de l'eau, les océans font face aux changements de courants marins, à l'acidification de l'eau et à une baisse de la teneur en oxygène. Une étude publiée dans *Science* en janvier 2022 à laquelle a participé le laboratoire Marbec* apporte une prévision inédite sur la transformation de l'écosystème au large du Pérou d'ici la fin du siècle.

Grâce au courant de Humboldt, les côtes péruviennes sont une zone océanique très prolifique, les remontées d'eau froide amenant des quantités de nutriments depuis les profondeurs. Mais cette profusion de vie la rend d'autant plus fragile. Riche en matière organique, la zone est pauvre en oxygène à cause de l'activité intense des bactéries. Elle est même anoxique (sans oxygène) à partir de quelques dizaines de mètres sous la surface. Si certaines espèces sont coincées en surface, d'autres se sont adaptées, en remontant à la surface la nuit pour s'oxygéner. Mais si la concentration d'oxygène dans l'eau baisse encore à cause de l'augmentation de la température de l'eau, certaines espèces pourraient ne pas s'adapter. « Les scientifiques ont longtemps pensé que l'oxygène n'était pas un facteur clé dans l'évolution du milieu marin. Or dans certaines zones comme au large du Pérou, c'est le facteur limitant », explique Arnaud Bertrand coauteur de l'étude et écologue marin au laboratoire Marbec.

130 000 ans d'histoire marine

La question pour les chercheurs est donc d'anticiper comment, sous l'effet de l'augmentation de la température et de la baisse d'oxygène, l'écosystème pourrait évoluer. Globalement, les scientifiques s'attendent à ce que la taille des poissons diminue. « Pour des bêtes à sang froid, le métabolisme augmente avec la température. Des conditions plus chaudes et pauvres en oxygène privilégient donc des individus plus petits, qui ont besoin proportionnellement de moins d'énergie et d'oxygène puisque le volume des poissons diminue en moyenne plus vite que la taille », explique Arnaud Bertrand. Mais deux hypothèses restent possibles : soit les espèces vont rétrécir, soit de nouvelles espèces, plus petites, vont s'établir.

Dans le Pacifique sud-est, c'est la deuxième hypothèse qui est la bonne selon les résultats originaux publiés dans *Science*. Les chercheurs prévoient en effet que l'écosystème actuel caractérisé par l'abondance d'anchois pourrait basculer vers un nouvel état dominé par les gobies d'ici la fin du siècle. Pour s'en convaincre, ils ont étudié l'évolution marine à une échelle de temps géologique. Sous le leadership du paléobiologiste Renato Salvatelli, l'équipe internationale a pu reconstruire 130 000 ans de vie océanique à l'aide d'une carotte de fonds océanique de 5 mètres. Écailles, vertèbres... ont ainsi permis de connaître la diversité des espèces et de leur abondance au fil des millénaires.



© IRD - Arnaud Bertrand

Les chercheurs ont constaté que l'écosystème s'est transformé radicalement, en fonction de l'évolution des conditions environnementales (température et concentration en oxygène notamment). Durant la dernière période interglaciaire, il y a 125 000 ans, les températures et concentrations au Pérou étaient celles prédites pour la fin de notre siècle. L'écosystème était alors dominé non pas par des anchois, mais par de petits gobies. Selon toute vraisemblance, le basculement qui a eu lieu alors pourrait ainsi se reproduire. « C'est une découverte très importante. Aucun des modèles actuels n'est capable de prédire qu'un petit poisson actuellement négligeable dans l'écosystème peut devenir prépondérant », insiste Arnaud Bertrand.

Pour cette recherche, les scientifiques ont bénéficié d'un milieu remarquable : il est rare de pouvoir faire de la paléobiologie en milieu marin, qui en général n'offre pas les conditions de conservation nécessaires. Mais le milieu anoxique de la côte péruvienne a permis de conserver la matière organique des sédiments. « Cette carotte a ouvert une fenêtre sur les conditions abiotiques attendues à la fin du siècle », se réjouit le chercheur.

*Marbec (UM, IRD, CNRS, Ifremer)

Un écosystème moins productif et moins divers

Le succès des gobies s'explique par leur petite taille (de l'ordre de quelques centimètres contre une dizaine pour les anchois) et leur meilleure résistance aux conditions anoxiques. Moins nutritifs et moins gras que les anchois, leur prédominance va modifier toute la chaîne alimentaire, jusqu'aux oiseaux et aux mammifères marins, explique Arnaud Bertrand : « la population des espèces actuelles pourrait donc s'effondrer en faveur de nouvelles espèces, vraisemblablement vers un écosystème moins productif et moins divers ».

Pour la communauté scientifique, ces résultats sont précieux. « Il est très difficile de tester nos hypothèses sur l'évolution des populations de poissons par des observations récentes, car on ne peut savoir ce qui relève du réchauffement ou de la pêche », explique Arnaud Bertrand. En effet, la pêche contribue à diminuer la taille des espèces en prélevant les plus gros spécimens ; elle peut aussi conduire à un basculement vers des communautés de poissons plus petites. Par exemple, en Namibie, la surpêche de sardines dans les années 1970, a entraîné une modification de l'écosystème au profit des gobies et des méduses. « Ce cas isolé qu'on prenait pour un cas particulier pourrait bien être valable pour les grands écosystèmes productifs », souligne le scientifique. 

THAU

miroir du futur

L'été 2018 restera longtemps gravé dans la mémoire des conchyliculteurs de la lagune de Thau. Cette année-là, des pluies anormalement élevées en hiver et au printemps, suivies de températures caniculaires et d'une absence de vent ont provoqué ce qu'on appelle une « malaïgue », mauvaise eau en occitan. Privée d'oxygène pendant plusieurs jours, la lagune étouffe et les coquillages avec. « 100 % des moules cultivées dans le bassin sont mortes, et 30 % à 40 % des huîtres, soit 6 millions d'euros de perte sèche », détaille Franck Lagarde.

Un phénomène d'une intensité exceptionnelle, qui met en lumière la fragilité de cet écosystème unique. « L'étang de Thau, cette petite mer intérieure, est un véritable laboratoire à ciel ouvert dans lequel on lit un peu le futur », explique le chercheur du laboratoire Marbec*. Car dans la lagune, la moyenne annuelle des températures de l'eau a déjà augmenté de 1,6 degrés en l'espace de 20 ans.

Fragile équilibre

Avec le réchauffement des eaux doublé de l'intensification des événements pluviométriques sur le bassin méditerranéen, c'est tout le fragile équilibre de l'étang qui est menacé, et tout un secteur économique qui se remet en question. Car des malaïgues, il y en aura d'autres. « Le risque d'anoxie est multiplié par 3 pour chaque degré de plus dans l'eau de la lagune comme le montrent les travaux de ma collègue Valérie Derolez », précise Franck Lagarde.

Avec ses 6 900 hectares d'eau salée, le bassin de Thau est la plus grande lagune côtière d'Occitanie et un haut lieu de la culture de coquillages. Une activité aujourd'hui sous haute surveillance à cause des effets du changement climatique qui a déjà impacté l'équilibre fragile de cette petite mer intérieure.

Face à ces perspectives, professionnels, chercheurs et politiques se regroupent pour sauvegarder la lagune et ses usages. « La bonne nouvelle c'est que tous les acteurs du bassin travaillent ensemble pour adapter des nouvelles pratiques culturelles et pour atténuer les effets du changement climatique ». Pour le spécialiste, la résilience de l'étang passe aussi par le maintien des efforts pour la restauration écologique de l'écosystème et de la biodiversité. Celle des herbiers de zostères pour commencer, ces prairies marines qui apportent de l'oxygène et limitent ainsi le risque de malaïgue. « Il faut aussi favoriser le retour d'espèces ingénieuses historiquement présentes dans l'étang mais qui en ont disparu comme par exemple l'huître plate ou la palourde européenne qui oxygènent les sédiments, favorisent les flux et la biodiversité », complète Franck Lagarde. Ces pistes de réhabilitation de l'écosystème sont des solutions fondées sur la nature qui permettront de le renforcer face aux stress plus intenses que l'on rencontrera demain.

« Y aura-t-il une limite ? »

Des efforts nécessaires également pour les professionnels de la filière conchylicole qui peuvent eux aussi contribuer à cette réhabilitation, « par exemple en améliorant encore la propreté sous les tables pour limiter la présence de déchets plastiques, de morceaux de filets ou d'amoncellement de poches ostréicoles et cordes polyéthylène. Chaque parcelle doit être propre pour permettre le retour de cette précieuse biodiversité ».

Des efforts individuels et collectifs qui favorisent la résilience de la lagune, « en témoigne l'absence de malaïgue en 2022 malgré des conditions hydroclimatiques jugées particulièrement sensibles ». 

*Marbec (UM, IRD, CNRS, Ifremer)

**IHPE (CNRS, Ifremer, UPVD, UM)

© Franck Lagarde

Tilio, 7 ans.
Futur nettoyeur des mers,
ou maître Jedi.



À qui appartient
la mer ?



À personne ! La mer échappe à toute appropriation, ce qui signifie que nul ne peut en revendiquer la propriété... pas même le pays – c'est-à-dire l'Etat – côtier, riverain de cette mer. Les mers font partie de ce que l'on appelle les « choses communes », elles sont à l'usage de tous.

En revanche, les fonds marins appartiennent à l'Etat car ils sont le prolongement naturel immergé du territoire national. Ce domaine public s'étend, côté terre, jusqu'au rivage de la mer, donc il inclut les plages. C'est donc par abus de langage que certains restaurants de plage se présentent comme « plages privées », ils sont en réalité simplement autorisés à en occuper une partie. Côté mer, les fonds marins appartiennent à l'Etat jusqu'à la limite de la « mer territoriale », c'est-à-dire à 22 kilomètres au large des côtes, soit 12 milles marins selon l'unité de mesure des distances maritimes.

Mais la mer est une zone qui comporte de nombreux enjeux : d'économie, de sécurité, de communication. Les pays ont donc trouvé d'autres moyens de « contrôler » la mer, notamment en se mettant d'accord grâce à des conventions internationales.

Ainsi, dans les eaux de la « mer territoriale », zone maritime la plus proche, l'Etat exerce sa souveraineté au même titre que sur son territoire terrestre c'est-à-dire que c'est lui qui fixe les règles en matière de pêche, de police ou encore de douanes. Plus loin, dans sa « zone économique exclusive » qui s'étend jusqu'à 200 milles marins (370 km) des côtes, l'Etat peut réglementer l'exploration et l'exploitation des ressources naturelles mais il doit respecter la liberté de navigation au profit de tous les navires.

Enfin, au-delà de cette zone, la « Haute mer » constitue un espace de liberté qui n'est placé sous l'autorité d'aucun Etat. Son fond marin, appelé « la Zone » est un élément du « patrimoine commun de l'humanité ». Conscients de la place des océans dans les enjeux climatiques, les Etats mènent actuellement des négociations pour assurer la conservation et l'utilisation durable de la biodiversité marine de cette « Haute mer » qui couvre près de la moitié de la surface du globe.

Un article en partenariat
avec le site *The Conversation*



Nelly Sudres - chercheuse en droit public au Centre de Recherches et d'Études Administratives de Montpellier (CREAM)



Écouter le podcast de l'émission À l'UM la science où Caroline Montagnani, chercheuse à IHPE**, nous parle de la vaccination des huîtres contre l'ostreïd herpesvirus 1.



Université de Montpellier

www.umontpellier.fr