



À bord de *Tara*, Mélanie Billaud et Nils Haentjens inspectent le contenu en fragments de plastique d'un échantillon d'eau de mer.

des microalgues et des microprédateurs se développent à la surface de ces fragments. Parmi ces plastiques, on observe une forte prépondérance des

polymères utilisés pour les emballages à usage unique, ainsi que d'importantes concentrations de fibres synthétiques colonisées par des bactéries.

Ces travaux ont été prolongés sur tout le parcours de l'expédition *Tara Pacific* 2016-18, dédiée aux récifs coralliens, y compris dans le continent de plastique du Pacifique Nord. Aujourd'hui, la fondation Tara Océan s'intéresse au plastique à travers une nouvelle mission aux embouchures des fleuves européens, entre terre et mer cette fois, afin d'explorer et décrire les fuites de déchets plastiques vers la mer. Cette «mission microplastiques 2019», dont le volet scientifique est coordonné par le CNRS, sillonnera plusieurs façades de l'Europe pendant six mois et explorera 10 grands fleuves. Elle se déroule jusqu'au 23 novembre 2019. Elle a pour objectifs majeurs d'identifier les sources de pollution, de comprendre leur fragmentation dans les fleuves et de prédire leur dispersion vers l'océan mais aussi de marteler que les solutions pour stopper ce fléau sont à terre, et qu'elles impliquent toute la société.

FONDATION TARA Océan

microfragments de plastiques. Il est notablement plus important dans le second cas. Qui plus est, il a souvent lieu entre des espèces différentes. De tels échanges, rapides et nombreux, favorisent l'adaptation des microbes (un processus d'ordinaire très long) à un nouvel environnement et la propagation de phénomènes de résistances aux antibiotiques.

Les risques pour la santé humaine sont importants! Si vous vivez au Bangladesh, par exemple, et que ces plastiques porteurs de bactéries résistantes atteignent les rivières à partir des océans, une grave épidémie pourrait se déclencher.

Est-il envisageable un jour de pouvoir nettoyer ces vortex de déchets?

Maria-Luiza Pedrotti: Selon moi, et en considérant l'ampleur du phénomène, c'est impossible. Nous ne pouvons simplement pas collecter les microplastiques et être efficaces sur de vastes zones. Même le plastique biodégradable n'est pas bon pour les océans, car il ne s'y décompose pas correctement. Bannir l'usage de sachets plastiques et les remplacer par des matériaux biodégradables ne fonctionnerait pas.

Il n'existe pas de méthode magique pour nettoyer les océans. Toutefois, le ramassage local, sur les zones côtières, est une bonne solution à préconiser, puisqu'il empêche les

déchets plastiques d'atteindre l'écosystème océanique global.

Les microbes des vortex peuvent-ils nous enseigner de nouveaux moyens de dégrader les déchets?

Maria-Luiza Pedrotti: On pourrait au moins endiguer la pollution par le plastique. Plusieurs espèces de bactéries et de champignons dégradent efficacement le polyéthylène, le polypropylène et d'autres polymères. Pour ce faire, ces microorganismes utilisent des enzymes qui les découpent en monomères.

Que prévoyez-vous d'étudier dans les années à venir?

Maria-Luiza Pedrotti: Les plastiques peuvent faciliter la colonisation bactérienne et être le vecteur de potentiels envahisseurs comme des algues nocives et des agents pathogènes. La première étape consiste à comprendre les mécanismes sous-jacents. La seconde consiste à essayer de cultiver les organismes qui se lient au plastique.

Nous devons continuer nos recherches. Le milieu des études sur les communautés microbiennes associées au plastique est lacunaire; nous ne comprenons pas encore exactement comment ces organismes affectent l'écologie océanique globale. Pour être crédible, nous devons avant tout rester humble. ■

BIBLIOGRAPHIE

M. LUIZA PEDROTTI ET AL., Changes in the floating plastic pollution of the Mediterranean sea in relation to the distance to land, *Plos one*, vol. 11(8), e0161581, 2018.

M. ARIAS-ANDRES ET AL., Microplastic pollution increases gene exchange in aquatic ecosystems, *Environmental Pollution* vol. 237, pp. 253-261, 2018.

D. DEBROAS ET AL., Plastics in the North Atlantic garbage patch: A boat-microbe for hitchhikers and plastic degraders, *Science of The Total Environment*, vol. 599-600, pp. 1222-1232, 2017.



Dans cette image
se cachent peut-être
les médicaments
de demain



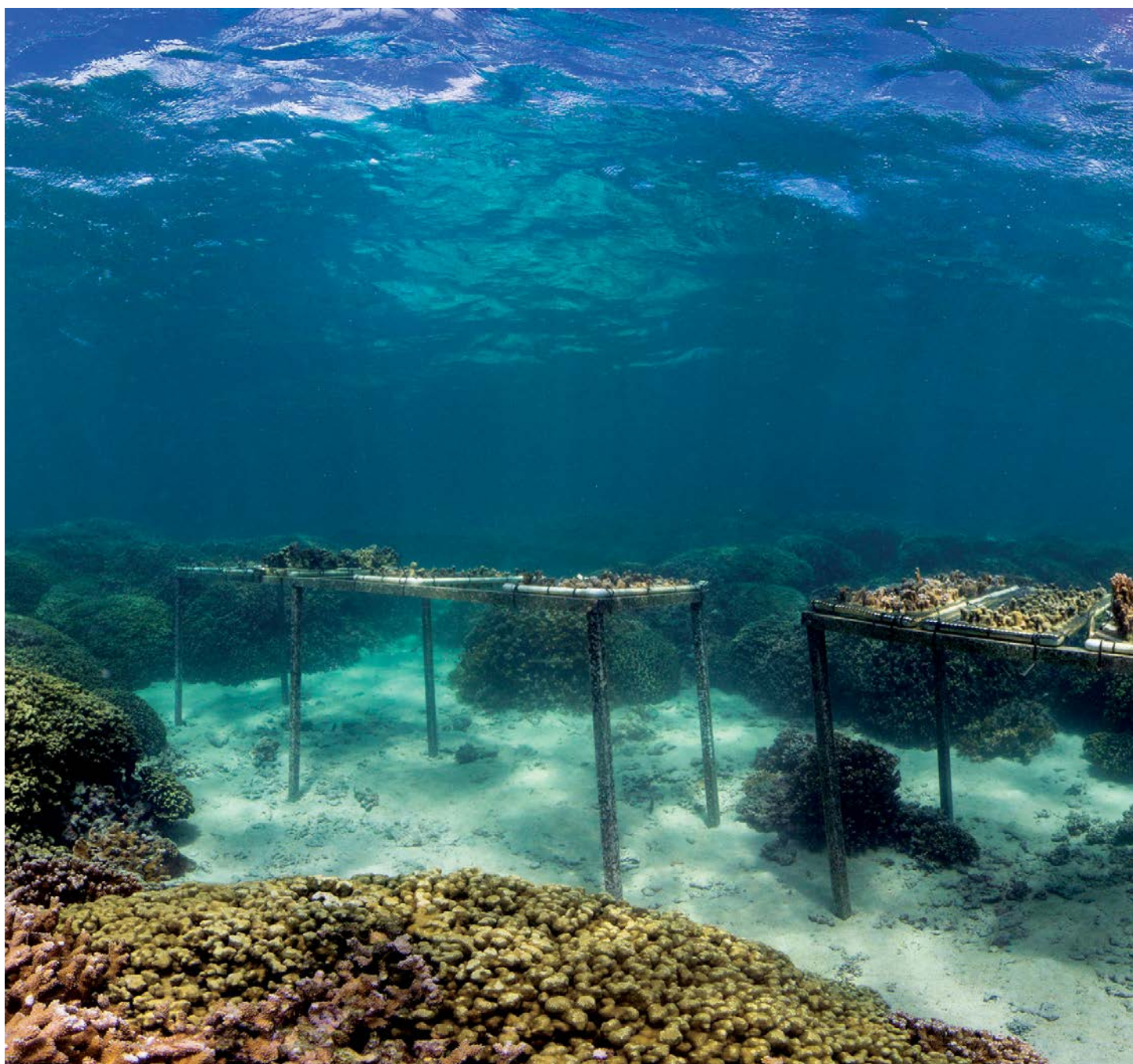
© Richard Whitcombe/shutterstock.com

VEILLER AU GRAIN

L'humanité aurait-elle pris conscience des dommages que ses activités infligent aux océans ? Peut-être... En tout cas, les initiatives pour réparer les dégâts se multiplient. Ici, on élève du corail pour espérer un jour recoloniser des récifs chatoyants de couleurs. Là, on délimite des aires protégées pour que la biodiversité se reconstitue, sans négliger les aspects socioéconomiques. Là encore, on organise la protection des tortues pour éviter leur disparition annoncée. Et au plus haut niveau des instances internationales, on réfléchit aux meilleures mesures à prendre pour protéger durablement les 71 % de la planète. Au-delà de la préservation de la nature, c'est également mettre toutes les chances de notre côté quant aux ressources que la mer recèle : médicaments, nourriture, nouveaux matériaux...

Des pouponnières pour le corail

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



L'ESSENTIEL

- Des biologistes essayent plusieurs méthodes pour aider les coraux à s'adapter au réchauffement climatique.
- Ils les poussent à se cloner plus vite et créent des larves en laboratoire pour accroître leur diversité génétique.
- Un stress thermique favorise l'activation de gènes

qui conduisent à des descendants plus résilients; la stimulation des algues symbiotiques des coraux pourrait aussi renforcer leur santé.

- Ces techniques sont prometteuses à l'échelle locale, mais un sauvetage à l'échelle mondiale ne sera possible que si nous ralentissons le réchauffement océanique.

L'AUTEURE



REBECCA ALBRIGHT
spécialiste des coraux,
est conservatrice à
l'Académie des sciences
de Californie.



Un plongeur contrôle des coraux plantés dans une baie, à Hawaï, pour déterminer comment l'acidification des océans, due au changement climatique, les affecte.

D

ebout sur une plage australienne, je me prépare à plonger sur la Grande Barrière de corail, 10 ans après ma précédente plongée en ce lieu. Mon émotion avait été à la hauteur du chemin parcouru: élevée dans l'Ohio, j'avais passé mon enfance à lire des livres sur la biologie marine. J'avais passé mes niveaux de plongée dans les eaux troubles des carrières de calcaire de cet État, avant de partir, un an plus tard, explorer la Grande Barrière. Avec mon amie Émilie, nous avons passé deux merveilleuses heures durant lesquelles, fascinées, nous contemplâmes une prospère forêt de corail regorgeant de seiches, de bénitiers géants violets et de gracieuses tortues marines...

Et me voilà de retour, cette fois en tant que chercheuse à l'Institut australien des sciences marines situé à Cape Ferguson dans le Queensland. Prête à m'émerveiller à nouveau, j'entre dans l'eau, puis regarde. Mon cœur se serre: plus aucune seiche, plus de tortues non plus... Le corail est pâle. La vie foisonnante a cédé la place aux algues et aux sédiments... Ce choc date de 2014, alors que commençait le troisième grand épisode de blanchiment.

Les coraux sont de petits animaux, des polypes, sécrétant un exosquelette en calcaire (le matériau du récif) et vivant en symbiose avec des zooxanthelles, des microalgues qui leur fournissent la majeure partie de leur nourriture et leur confèrent leurs couleurs. Quand l'élévation de la température des eaux marines stresse les coraux, ils tendent à expulser leurs microalgues. Leurs colonies perdent alors leurs couleurs pour



Les plongeurs fixent des coraux élevés en laboratoire afin de repeupler un récif, un peu comme on plante de jeunes arbres pour reconstituer une forêt.

adopter celle du calcaire constitutif de l'exosquelette des polypes: elles blanchissent.

UNE KYRIELLE DE MENACES

Le blanchiment massif des coraux entamé en 2014 a duré trois ans, dévastant les récifs sur toute la planète. Même si la surpêche, la pollution et l'acidification des océans menacent aussi les récifs coralliens, la principale inquiétude à leur propos aujourd'hui est bien leur destruction rapide et massive par le réchauffement des eaux océaniques.

Provoquées par des épisodes El Niño, les premières grandes phases de blanchiment se sont produites en 1998 et en 2008. Celle de 2014 à 2017 a de loin été la plus longue et la plus ample puisqu'elle a concerné pas moins de 70% des récifs coralliens du monde. Deux tiers des coraux de la Grande Barrière de corail ont été soit sévèrement blanchis, soit détruits. Et la dévastation continue: les récifs coralliens disparaissent sous nos yeux. Au cours des 30 dernières années, nous avons perdu approximativement 50% des coraux de la planète et les chercheurs estiment que pas plus de 10% des coraux du monde survivront jusqu'en 2050. Nous avons besoin de solutions pour les sauver et il nous les faut très vite!

LES CORAUX DANS L'ANTHROPOCÈNE

Au cours des 40 dernières années, l'intervalle de temps séparant deux événements de blanchiment a été divisé par cinq. C'est la constatation

à laquelle l'équipe de Terry Hughes de l'université James Cook en Australie est parvenue après avoir examiné de près les évolutions de cent récifs coralliens situés dans les eaux territoriales de 54 pays

à travers le monde. Selon les chercheurs, il est clair que les coraux sont entrés dans l'ère géologique dite de l'Anthropocène, c'est-à-dire de la domination de la vie sur Terre par l'humanité.

Même si les récifs coralliens ne couvrent que 0,1% de la surface du fond océanique, on y rencontre 25% des espèces marines connues, dont certaines nourrissent des millions de gens. Ils représentent aussi des protections côtières naturelles capables d'atténuer jusqu'à 97% de l'énergie des vagues et 84% de leur hauteur. Et puis, les coraux sont aussi à l'origine d'une activité touristique. S'ils venaient à disparaître, les vies de quelque 500 millions de personnes seraient compromises, entraînant un manque à gagner de plus de 30 milliards d'euros.

DES SAPINS DE NOËL IMMERGÉS

Poussés par l'urgence de la situation, des chercheurs se sont mis à développer des moyens de plus en plus audacieux et créatifs pour maintenir les récifs coralliens et les restaurer. Les techniques nécessaires doivent être bon marché et adaptables à grande échelle. Ces critères ont conduit à une poignée d'options fondées sur des processus naturels et des interventions humaines. Ensemble, ces actions pourraient aider les coraux à traverser les prochaines décennies – et atteindre, espérons-le, une période où l'humanité aura assez réduit ses émissions pour que le réchauffement climatique ralentisse.

Si vous plongez un jour à quelque sept kilomètres de la côte de Floride, peut-être tomberez-vous sur des forêts d'arbres en plastique aux branches ornées de coraux, semblables à des sapins de Noël décorés. Les chercheurs emploient de tels élevages en mer ou en bassin

afin de cultiver des coraux qui, ensuite, seront transplantés sur des récifs dégradés. Ces pouponnières marines tirent parti du fait que la reproduction des coraux peut être sexuée ou non. Une colonie corallienne est en effet un organisme clonal constitué de centaines de milliers de polypes qui sont les clones les uns des autres. Chacun a la capacité de se reproduire de façon sexuée en émettant des œufs et du sperme qui fusionneront pour former des larves et de façon asexuée par bourgeonnement de ses polypes pour en former d'autres (voir l'encadré page 57).

Quand une tempête endommage un récif corallien, il arrive qu'un fragment de colonie se détache, soit emporté, se fixe au fond et recommence à prospérer en se clonant. C'est pourquoi les éleveurs de corail fragmentent volontairement des coraux afin d'en créer des clones. Aujourd'hui, presque 90 espèces différentes sont élevées à travers le monde. Les éleveurs des Caraïbes et de l'Atlantique occidental font couramment pousser des dizaines de milliers de coraux et les transplantent sur des récifs dégradés, financés le plus souvent par des donateurs privés, des subventions ou des programmes gouvernementaux de restauration.

Les chercheurs aimeraient amplifier ce type de restauration. Dave Vaughan, du laboratoire marin Mote, à Sarasota, en Floride, a découvert récemment que lorsqu'on réduit les coraux en fragments de la taille d'une gomme, ils se régénèrent 25 à 50 fois plus vite que dans la nature.

Et si des morceaux génétiquement équivalents sont disposés à quelques centimètres les uns des autres, ils fusionnent à nouveau pour former une grande colonie. En quelques mois, l'équipe de Dave Vaughan obtient ainsi des colonies coralliennes de la taille d'un ballon de football, ce qui, dans la nature, aurait pris des années.

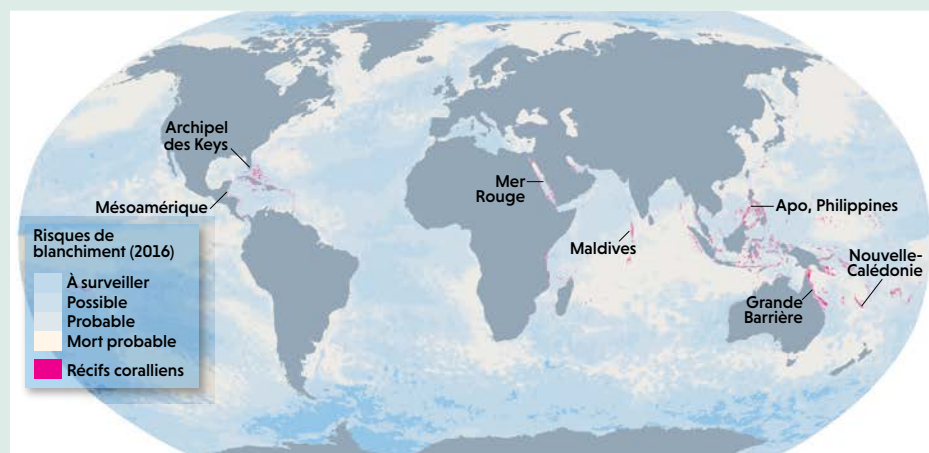
LE PIRE BLANCHIMENT DE TOUS LES TEMPS

Entre 2014 et 2017, un réchauffement anormal des eaux océaniques a provoqué le blanchiment

de coraux de la plus grande ampleur jamais enregistrée. Au cours de l'année 2016, en effet, les conditions de vie difficiles pour les

coraux dues à cette élévation de température se sont multipliées sur la planète. Stressés, les polypes coralliens ont expulsé en masse

leurs algues symbiotiques, ce qui a privé les colonies coralliennes de leur source de nourriture, dans nombre de cas jusqu'à la mort.



600 CORAUX EN UN APRÈS-MIDI

Il y a douze ans, aux débuts de la culture corallienne, l'équipe de Dave Vaughan a produit 600 coraux en six ans; elle en fait aujourd'hui autant... en un après-midi. Entre-temps, elle a appliqué avec succès sa technique de fragmentation à une demi-douzaine d'espèces coralliennes. Dave Vaughan prévoit de produire et de transplanter jusqu'à 100 000 en 2019, et il s'est juré de ne pas prendre sa retraite avant d'en avoir transplanté 1 million.

© Getty Images



➤ Quand il a commencé dans la culture de coraux, la production d'un seul corail coûtait quelque 800 euros. Grâce à la technique de fragmentation et après avoir amélioré ses méthodes, son équipe produit aujourd'hui couramment un corail pour moins de 17 euros. En faisant appel à des scientifiques amateurs et à des volontaires, Dave Vaughan est convaincu qu'il réduira ce coût à deux euros par corail – un euro pour assurer la reproduction et un autre pour financer la transplantation. Même si le Service américain de la pêche maritime estime que restaurer les coraux « corne de cerf » et « corne d'élan » typiques des Caraïbes demandera... 400 ans et 216 millions d'euros, l'objectif de Dave Vaughan est de les retirer de la liste des espèces en danger avant sa mort.

Ses techniques ont permis de rétablir de nombreux récifs tels qu'on les avait connus en termes de taille et de fonctionnement. Cela n'a toutefois été possible que localement : les mêmes résultats à l'échelle de l'écosystème signifieraient un saut énorme. De fait, la plupart des campagnes menées jusqu'à présent ont restauré moins d'un hectare, alors que les récifs se dégradent sur des centaines de milliers de kilomètres carrés. Le passage à grande échelle est donc l'un des plus grands défis à relever : on a par exemple estimé que la restauration des 2300 kilomètres de la Grande Barrière à l'aide de fragments de corail à quatre euros pièce coûterait... 170 milliards d'euros.

Parallèlement à ces pouponnières fondées sur la reproduction asexuée des coraux, des chercheurs tentent de favoriser leur reproduction sexuée dans l'espoir d'augmenter leur diversité génétique. C'est important, car la baisse de diversité génétique accompagnant le déclin des populations réduit la résilience des colonies coralliennes face au réchauffement des eaux marines. Dans de nombreux récifs des Caraïbes, par exemple, un unique clone domine. Or la science et même l'histoire enseignent qu'une diversité génétique trop faible conduit vite une population au désastre, particulièrement quand les conditions environnementales changent.

Les coraux du genre *Acropora* se reproduisent une fois par an en été. Tout au long des milliers de kilomètres de la Grande Barrière de corail, ils émettent alors des paquets de spermatozoïdes et d'ovules.

La reproduction sexuée est le moyen par lequel la nature accumule de la diversité. Comme les coraux sont fixés au plancher de l'océan, ils ne peuvent se déplacer à la recherche de partenaires. Pour se reproduire de façon sexuée, la plupart libèrent des ovules et des spermatozoïdes dans la colonne d'eau où, avec un peu de chance, des fécondations se produisent. Un phénomène qui devient de plus en plus improbable à mesure qu'une zone récifale se dégrade puisque les coraux vivants se retrouvent de plus en plus éloignés les uns des autres.

À l'Académie des sciences de Californie, en collaboration avec les ONG *Nature Conservancy* et *Secore International*, nous travaillons à assister la délicate sexualité des coraux. Nous avons désormais une bonne idée du moment pendant lequel frayent les colonies (*voir la figure ci-dessus*) : vers la fin de l'été, après le coucher du soleil et à la pleine lune (les coraux sont étonnamment romantiques). Au cours d'une des nuits où cela se produit, nous plongeons munis de filets afin de prélever les gamètes (*voir la figure ci-dessous*). Nous les apportons ensuite au laboratoire, où nous les mélangeons dans des seaux d'eau de mer afin de déclencher des fécondations. Les larves ainsi produites ont la taille d'un grain de sésame.

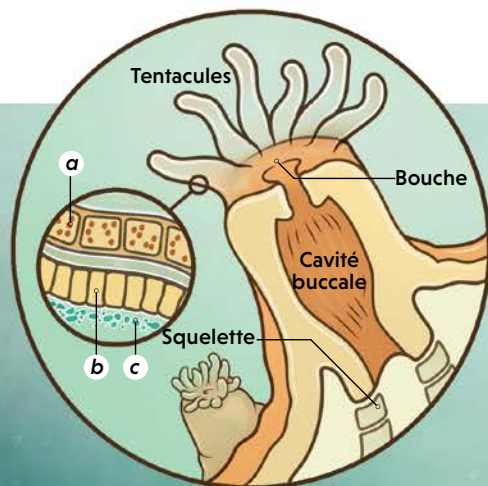
FIV CORALLIENNE

Dans la nature, tant qu'elles n'ont pas eu l'occasion de se fixer afin de commencer à croître, elles sont vulnérables, susceptibles d'être mangées à tout moment. D'où l'intérêt de les élever jusqu'à ce qu'elles soient assez grandes et fortes pour être transplantées sur le récif. L'objectif n'est pas de replanter des récifs entiers, mais plutôt d'y augmenter la diversité génétique tout en reconstituant assez la population afin que le récif puisse se rétablir par ➤



Les spermatozoïdes et les ovules des coraux « corne d'élan » sont prélevés sous l'eau à l'aide d'un entonnoir en tissu et collectés dans un tube (*ci-contre*).

© Avec l'aimable autorisation de Paul Selvaggio Secore International



ASSISTER LA VIE CORALLIENNE

Mi-animaux, mi-végétaux, les coraux produisent leur descendance en se clonant (reproduction asexuée) ou par la fusion d'un ovule et d'un spermatozoïde (reproduction sexuée); ils vivent aussi en symbiose avec des algues. D'où les quatre méthodes pour les aider à se multiplier et à prospérer présentées ci-dessous.

TROIS EN UN

Un corail est fait de nombreux polypes dotés d'un squelette et d'une bouche. Chacun est nourri par des algues (a) vivant sous un épiderme (b) entretenu par des bactéries (c). Ces trois organismes symbiotiques bénéficient les uns des autres. Ce sont les algues qui donnent leurs couleurs aux coraux.

REPRODUCTION SEXUÉE

Une nuit par an, une colonie corallienne libère des millions de minuscules billes translucides qui contiennent ovules et spermatozoïdes. Les billes remontent à la surface où leur membrane se dissout au contact de l'air. Si un spermatozoïde rencontre un ovule, la minuscule larve issue de la fécondation grossit, nage vers les fonds sous-marins, se fixe sur un substrat et devient un polype capable de bourgeonner.

REPRODUCTION ASEXUÉE

Un polype se clone lui-même en formant un bourgeon qui se développe en un second polype identique au premier. En outre, si de fortes vagues brisent une branche du corail, les fragments peuvent se fixer au sol, pousser et devenir des copies conformes de l'organisme de départ.

Quelles solutions?

ALGUES

Développer des algues résistantes à la chaleur et les inoculer aux bébés coraux afin de les rendre plus résistants à la chaleur.

FÉCONDATION CROISÉE

Prélever spermatozoïdes et ovules et les fusionner au laboratoire afin d'obtenir une grande diversité génétique de larves, puis les planter sur le récif afin de le rendre plus résilient.

GÈNES

Stresser thermiquement les coraux favoriserait l'activation de gènes de résistance thermique. Une fois dans un récif, les coraux entraînés transmettraient leur résilience.

MICROFRAGMENTS

Briser des coraux en petits morceaux, ce qui favorise la croissance de clones. En planter des milliers sur les récifs dégradés afin qu'ils se reconnectent en colonies.

- lui-même tout en devenant plus résilient aux changements de l'environnement.

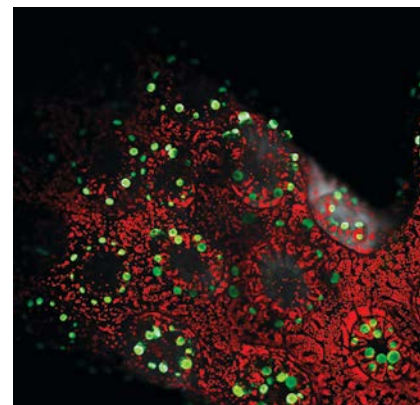
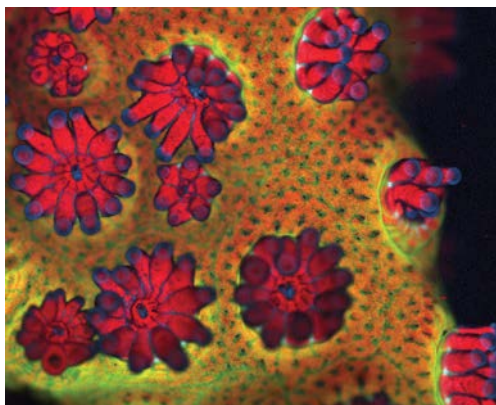
Nombre de récifs ont une trop faible diversité génétique pour produire des bébés coraux. En combinant multiplication asexuée et sexuée, nous serions à même de reconstruire des récifs sains dans le voisinage. L'objectif est de créer des coraux propagateurs de vie.

Dans la nature, environ un bébé corail sur 1 million survit. D'où le grand intérêt de les aider à traverser les premiers stades de leur vie. Nous en sommes aujourd'hui à 100% de succès dans la fécondation des coraux en laboratoire et la fixation des larves sur des tuiles pouvant être placées en mer. Lors d'un frai corallien à Curaçao dans les Caraïbes l'an passé, j'ai aidé *Secore International* à récolter les ovules de 25 colonies. En deux petites journées, notre équipe en a ramassé pas moins de 5 millions.

L'un des grands défis est de maintenir les coraux juvéniles en vie une fois réimplantés dans l'océan. Après tout, les conditions de vie qui y règnent actuellement sont la cause principale du déclin corallien, de sorte que tant que nous n'avons pas maîtrisé le changement climatique, la pollution et la surpêche, nous ne faisons qu'accorder un peu de répit aux coraux. Qui sait, peut-être réussirons-nous à créer des génotypes que nous reproduirons en masse et dont certains survivront.

Toutefois, pour qu'un tel scénario se produise, nous ne pouvons nous fier à la chance. Les conditions régnant dans les océans changent trop vite pour que la plupart des coraux s'adaptent naturellement, de sorte que les chercheurs s'intéressent aussi aux moyens d'accélérer leur adaptation. Une approche possible consiste à renforcer les traits favorisant la tolérance au stress thermique et la capacité à se rétablir après une phase de blanchiment. Cette évolution « assistée » est déjà très présente dans notre quotidien, puisque la plus grande partie de la nourriture que nous consommons provient d'espèces ayant été modifiées par l'humanité. Nos animaux de compagnie ont aussi été élevés et sélectionnés en fonction de traits esthétiques ou de personnalité. Dès lors, pourquoi ne pas en faire autant avec les coraux afin de favoriser leur résistance au changement climatique ?

Ruth Gates, de l'Institut de biologie marine de Hawaï, et Madeleine van Oppen, de l'Institut australien de science marine, travaillent ensemble à augmenter la résistance corallienne au stress. Afin de conditionner les coraux, Ruth Gates les place sur ce qu'elle nomme des « tapis roulants environnementaux ». Ils y sont exposés à des températures sublétales, dans l'espoir de favoriser l'activation de gènes aidant à affronter durablement le stress thermique. Cette technique, nommée réglage épigénétique, serait plus enthousiasmante encore si les



coraux entraînés étaient ensuite implantés sur des récifs, où ils transmettraient leur résistance à leurs rejetons, créant en quelque sorte des générations de « supercoraux ». Le réglage épigénétique augmenterait la résistance corallienne au blanchiment. En théorie du moins.

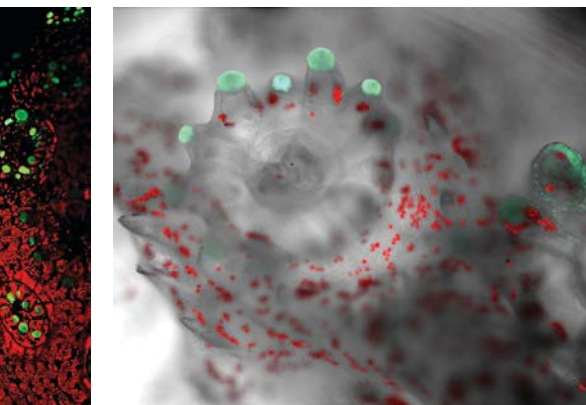
De fait, nous comprenons encore peu ce processus. Si les premiers essais de laboratoire sont prometteurs, il reste à en mener en mer. Ils révéleront si les coraux entraînés transmettent effectivement leur résilience à leurs descendants une fois intégrés à un récif, ce qui permettra d'envisager cette approche à plus grande échelle, d'étudier son coût et d'éventuels risques inhérents.

DE L'IMPORTANCE DU MICROBIOTE

Madeline van Oppen, quant à elle, étudie la sélection artificielle. Un certain degré de diversité génétique existant au sein d'une même espèce, chaque individu est plus ou moins résistant au blanchiment ou à la maladie. Comme des sélectionneurs cherchant à favoriser certains traits d'une espèce animale, il serait intéressant d'identifier les colonies de coraux résistantes et de s'en servir pour produire une progéniture résistante. Nous serions alors en mesure d'améliorer la tolérance à la température d'un récif entier puisque les gènes utiles seraient transmis aux générations suivantes.

Sélectionner des coraux est difficile car leur maturation nécessite parfois une décennie. L'adaptation aux changements environnementaux est compliquée pour la même raison. Toutefois les microorganismes et les algues vivant en symbiose avec les coraux se reproduisent vite et influencent énormément leur santé. Nous tentons donc de manipuler ce microbiote corallien afin d'améliorer la santé des polypes.

Madeline van Oppen développe actuellement en laboratoire des souches d'algues et les inocule à des bébés coraux afin qu'elles leur confèrent une tolérance thermique. Avec Ruth Gates, elle tente aussi d'appliquer plusieurs de ces techniques (réglage épigénétique, sélection



Ces algues (en rouge) nourrissent un corail du genre *Pocillopora* en bonne santé (à gauche). Le réchauffement de l'eau conduit à leur expulsion (au centre) de sorte que le corail adopte la couleur de son exosquelette: il blanchit (à droite). Une fois séparés de leurs algues, les coraux manquent de sucres (les points verts sont des protéines).

artificielle et manipulation du microbiote) sur un même corail est plus efficace que l'application d'une seule à la fois.

La plupart des techniques que nous utilisons n'en sont qu'à leurs balbutiements. Toutefois, certains éléments suggèrent qu'en les associant, nous aurons plus de succès. Une approche combinée se déroulerait ainsi: nous utiliserions d'abord la reproduction sexuée et l'évolution assistée pour obtenir au sein de populations de coraux une plus grande diversité et des individus plus résistants au stress; ensuite nous passerions à la production en masse en élevage par multiplication asexuée; puis nous transplanterions les individus obtenus sur des récifs.

Est-ce pour bientôt? Pas exactement. Certaines techniques, comme la sélection artificielle sont faciles à mettre en œuvre immédiatement; elles sont aussi peu coûteuses et efficaces. Toutefois, nous avons encore du travail afin d'établir la viabilité et l'adaptabilité à grande échelle des autres techniques, et de mesurer les risques d'entraîner des conséquences écologiques non anticipées. Il est possible, par exemple, que les traits artificiellement sélectionnés conduisent les coraux introduits à surclasser les populations natives au lieu de s'y intégrer, ce qui ruinerait nos efforts pour favoriser la survie des récifs.

BANQUE DE SPERME CORALLIEN

Que l'on utilise une ou plusieurs techniques pour renforcer les coraux, une autre étape est cruciale: il faut conserver des spermatozoïdes, des ovules, des larves et des fragments de coraux entiers au sein de réserves équivalentes aux banques de semences maintenues par les agronomes depuis des décennies pour améliorer le rendement des cultures, la résistance aux maladies et la tolérance à la sécheresse. De telles banques permettent aux chercheurs de se procurer des éléments biologiques essentiels à l'amélioration de la résilience et de la biodiversité.

En s'inspirant des méthodes employées pour la fécondation *in vitro*, Mary Hagedorn de l'Institut de biologie de la conservation de la

Smithsonian Institution, à Washington, a mis sur pied la première banque génétique pour espèces de coraux en danger. En 2004, quelques années après la naissance du premier bébé humain issu d'un ovule cryopréservé (préservé dans l'azote liquide), elle a en effet créé le programme de cryoconservation des coraux. Son équipe a mis en place un système de congélation du sperme corallien applicable à un large éventail d'espèces coralliennes. Pour le moment, elle a stocké 16 espèces provenant du monde entier, soit environ 2% des quelque 800 espèces coralliennes qui existeraient sur Terre d'après les estimations. Les spermatozoïdes décongelés ont des taux de fécondation comparables à ceux des spermatozoïdes frais et les embryons issus de la fécondation *in vitro* se développent en polypes juvéniles en bonne santé.

Mary Hagedorn a distribué ces germoplasmes, ou tissus vivants, dans les banques cryogéniques de divers pays. En théorie, ces banques sont capables de conserver ces tissus pendant des centaines, voire des milliers d'années. Les cellules pourront être décongelées un jour et servir à des projets d'élevage en mer ou en piscine. Les spermatozoïdes congelés serviraient par exemple à féconder des ovules venant de zones hors de leur territoire d'origine, et ainsi à introduire de nouveaux gènes dans un bassin génétique corallien. Les banques servent bien sûr aussi à préserver les espèces récifales susceptibles de décliner ou de disparaître.

UN RÉCIF AU CONGÉLATEUR

Outre le sperme, Mary Hagedorn travaille aussi à cryopréserver des ovules et même des larves entières. Elle espère y parvenir au cours des années à venir, puis elle s'attaquera à la cryoconservation de microfragments coralliens entiers. Son équipe développe aussi des techniques de cryopréservation de testicules de poissons afin d'aider à préserver la diversité des poissons récifaux. Son objectif ultime est de construire un ensemble de banques hautement sécurisées rassemblant les ovules, spermatozoïdes, embryons... des coraux et des autres espèces récifales en danger. «Nous n'avons aucune idée de ce que la science sera capable d'accomplir dans un siècle», estime-t-elle.

Ces différentes pistes peuvent surprendre. Nombre d'entre elles doivent encore être mises à l'épreuve, et de nombreuses interrogations subsistent quant à leur applicabilité à grande échelle, à leurs coûts et aux conséquences écologiques de la manipulation des systèmes récifaux. Toutefois, les risques de l'inaction sont connus: de fortes menaces pèsent sur les coraux et les nombreuses espèces qui en dépendent. Bien sûr, le premier défi reste de réduire les activités humaines responsables de ces menaces: les émissions de gaz à effet de serre, la pollution et la surpêche. ■

BIBLIOGRAPHIE

T. P. HUGHES ET AL., Global warming and recurrent mass bleaching of corals, *Nature*, vol. 543, pp. 373-377, 2017.

P. J. EDMUNDS ET AL., Persistence and change in community composition of reef corals through present, past, and future climates, *Plos One*, article e107525, 2014.

Projet de l'Académie des sciences de Californie pour les récifs coralliens: www.calacademy.org/explore-science/hope-for-reefs

Projet des microfragments du laboratoire marin Mote: <https://mote.org/research/program/coral-reef-restoration>

L'ESSENTIEL

- La haute mer, au-delà des limites des eaux territoriales, est l'objet de nombreuses convoitises.
- Elle est, en outre, soumise à de nombreux stress et la biodiversité, notamment planctonique, qu'elle abrite est particulièrement menacée.
- Il importe de l'étudier en détail pour comprendre les mécanismes des services écosystémiques qu'elle rend, la séquestration du carbone par exemple.
- La fondation Tara Océan est partie prenante de cette exploration scientifique et des pourparlers sur la protection de la haute mer.

L'AUTEUR



ROMAIN TROUBLÉ
directeur général
de la fondation
Tara Océan

La haute mer, terre de découvertes

L'exploration scientifique de la haute mer est indispensable à une meilleure connaissance de la biodiversité océanique et de sa dynamique. C'est un enjeu écologique planétaire ! Les discussions en cours pour sa protection doivent en tenir compte.