

à atteindre certains des grands défis technologiques de demain: le maintien de la sécurité dans l'espace et la sécurisation des communications. Mais, à leur tour, ces nouvelles applications feront progresser l'optique adaptative, pour le bénéfice de l'astronomie.

DE NOUVEAUX USAGES POUR LES TÉLESCOPES

Traditionnellement, à cause de son coût, l'optique adaptative était un investissement qui ne se justifiait que pour les plus grands observatoires. Mais la surveillance de l'espace et les communications gagneront beaucoup à utiliser l'optique adaptative même sur des télescopes de diamètre plus modeste. Dans cette situation, toutes ces communautés auront intérêt à s'entraider et à mutualiser leurs équipements. Les télescopes sous-utilisés trouveront une nouvelle vie quand ils seront équipés de systèmes d'optique adaptative. De leur côté, les contrôleurs de débris spatiaux sont à la recherche d'accès à des télescopes leur permettant de couvrir autant de latitudes et de longitudes que possible. Dans le cahier des charges de futurs observatoires, les astronomes pourraient envisager dès le début d'y ajouter des fonctionnalités permettant non seulement de faire de la recherche

astronomique, mais aussi d'étudier la situation spatiale et de réaliser des communications sécurisées. Cette ouverture pourrait donner accès à de nouvelles sources de financement, dont des partenariats avec des entreprises privées.

Nous abordons une époque multidisciplinaire dans laquelle le ciel est une ressource commune. Alors que nous avons rendu plus nets les contours des objets célestes, nous floutons les lignes de démarcation entre les diverses activités susceptibles d'utiliser les télescopes comme principal outil. Les chercheurs et ingénieurs qui développent les systèmes d'optique adaptative élargissent désormais leurs cercles de collaboration et occupent une place centrale dans cette nouvelle dynamique.

L'optique adaptative s'installe aussi dans de nouvelles applications... sans télescopes. L'une d'elles, maintenant assez répandue, est l'imagerie médicale et l'ophtalmologie, pour corriger les aberrations optiques produites par la traversée de tissus vivants et de l'œil. D'autres utilisations incluent l'optimisation de la focalisation du faisceau pour les outils laser industriels et même pour les lasers militaires antimissiles. Il n'a jamais été aussi passionnant d'explorer le potentiel de l'optique adaptative, que ce soit dans l'espace ou sur Terre. ■

BIBLIOGRAPHIE

N. Gisin, « **L'internet quantique est pour le physicien un défi fascinant** », *Pour la Science*, n° 528, pp. 22-27, octobre 2021.

N. Martinez et al., **Australia's first laser guide star : design and telescope integration at Mount Stromlo Observatory**, *Proc. SPIE, Adaptive Optics Systems VII*, vol. 11448, article 114481U, 2020.

J. C. Gonzalez Herrera et al., **L'ELT, le plus grand œil de la planète**, *Pour la Science*, n° 511, pp. 32-41, mai 2020.



PORTONS LA VOIX DE LA NATURE

Partagez notre engagement !

Pour la Science

Écoutez **Pour que nature vive**, des podcasts incarnés par des scientifiques pour comprendre le vivant.

18 épisodes en ligne sur le site du Muséum et sur les plateformes d'écoute.

Lisez les **Manifestes du Muséum**, une collection d'ouvrages qui offrent un éclairage scientifique sur des sujets d'actualité.

4 ouvrages déjà disponibles en librairie, nouvelle parution en novembre.

Participez aux **Tribunes du Muséum**, le rendez-vous qui remet la science au cœur du débat politique et social.

2 rencontres par an, captations vidéos sur le site du Muséum et sur Youtube.

Plus d'informations sur **mnhn.fr**

L'ESSENTIEL

> Une grande diversité de coraux dits « profonds » colonise les eaux froides.

> La pêche, la pollution par les plastiques, le réchauffement climatique et l'acidification des océans menacent ces espèces et la biodiversité qu'elles hébergent.

> L'espèce la plus répandue, *Lophelia pertusa*, est aussi la plus sensible.

> L'objectif des chercheurs est de fournir les bases scientifiques pour les protéger.

LES AUTEURS



FRANCK LARTAUD
maître de conférences
au laboratoire Lecob,
observatoire
océanologique
de Banyuls-sur-Mer



LÉNAÏCK MENOT
chercheur
au laboratoire
Environnement
profond de l'Ifremer
à Plouzané

Les coraux profonds sous pression

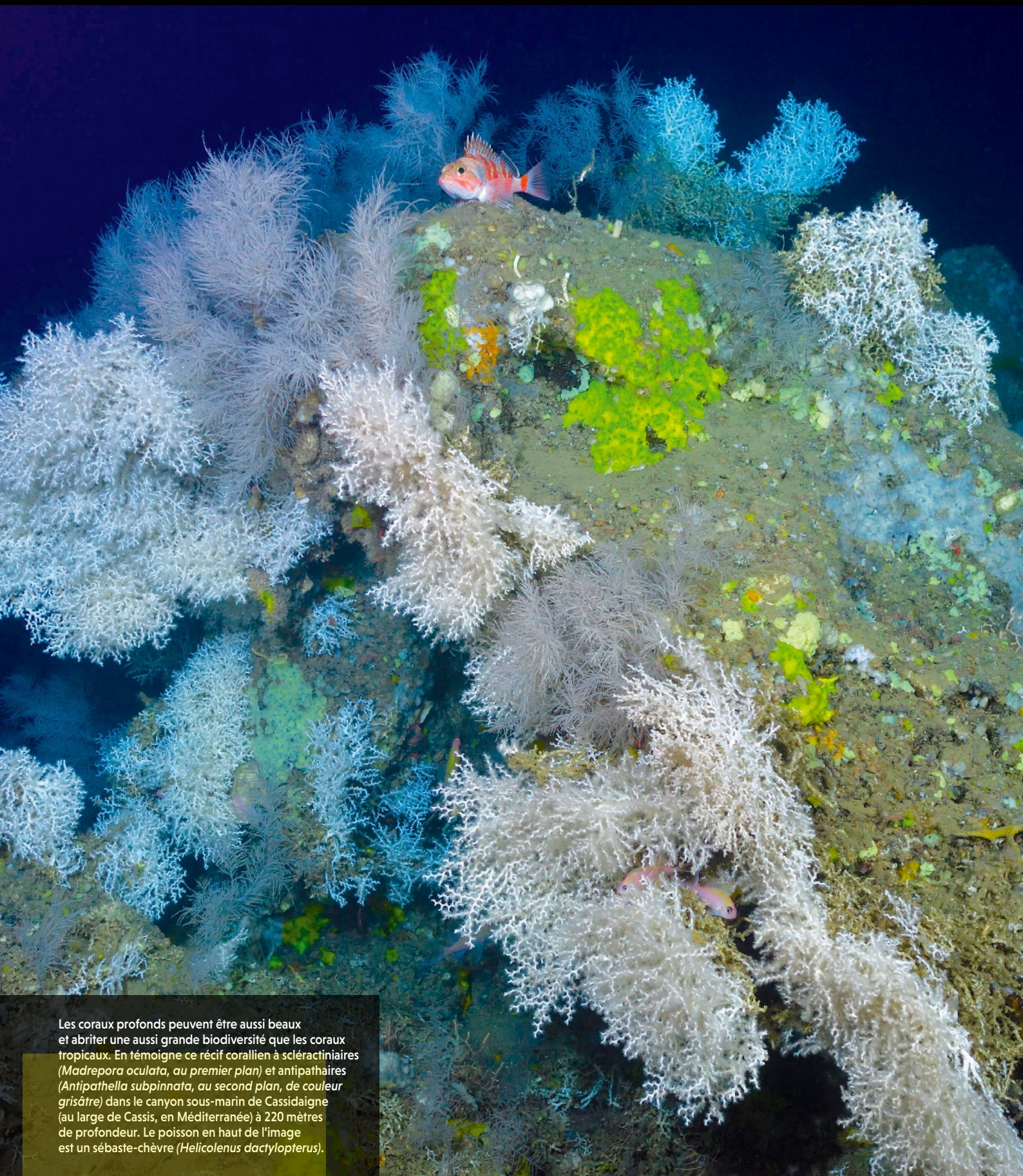
Les coraux ne sont pas réservés aux mers tropicales. Plusieurs espèces se développent dans des eaux froides, à plusieurs centaines de mètres de profondeur, voire bien plus, ce qui ne les protège pas de l'impact négatif des activités humaines. Comment aider à leur préservation ?

Quel paysage imaginez-vous quand on vous dit « corail » ? Très probablement des eaux chaudes et des lagons bleus sous les tropiques... Une paire de palmes, un masque et un tuba, et vous voilà prêt à explorer ces eaux peu profondes, entouré de poissons multicolores. Pourtant, le corail n'est pas limité à ces eaux chaudes. Plusieurs espèces tout aussi impressionnantes et qui hébergent une riche biodiversité vivent dans des environnements bien moins accueillants (voir les photos ci-contre et pages 58-59). Qualifiées de « coraux profonds » ou « coraux d'eaux froides », ces organismes vivent dans les mers des hautes latitudes ou dans les fonds océaniques, entre 200 et 4000 mètres de profondeur, à des températures inférieures à 15 °C.

Les zoologistes ont pris la mesure de leur importance écologique vers la fin du xx^e siècle presque en même temps qu'ils ont pris conscience des nombreuses menaces qui pèsent sur eux, à l'instar de leurs cousins tropicaux. Depuis, comme la plupart des équipes de recherche sur le sujet, nous travaillons à mieux préciser ces impacts et à anticiper la réponse de ces organismes pour fournir les fondements scientifiques de programmes de protection adaptés.

IL Y A CORAIL ET CORAIL...

Les coraux sont entrés dans le quotidien des hommes dès la Préhistoire, notamment en Europe avec le corail rouge, espèce patrimoniale de Méditerranée que l'on trouvait alors dès 5 mètres de profondeur. On attribuait un pouvoir magique à cet « or rouge ». Dans



Les coraux profonds peuvent être aussi beaux et abriter une aussi grande biodiversité que les coraux tropicaux. En témoigne ce récif corallien à scléractiniaires (*Madrepora oculata*, au premier plan) et antipathaires (*Antipathella subpinnata*, au second plan, de couleur grisâtre) dans le canyon sous-marin de Cassidaigne (au large de Cassis, en Méditerranée) à 220 mètres de profondeur. Le poisson en haut de l'image est un sébaste-chèvre (*Helicolenus dactylopterus*).

L'Antiquité, il était récolté pour servir d'amulette, de médicament et de matériau de bijouterie et de décoration de luxe. Les coraux des mers chaudes étaient également utilisés comme parure ou comme instrument de cuisine dans les cultures précolombiennes des Antilles ainsi que dans l'Indo-Pacifique.

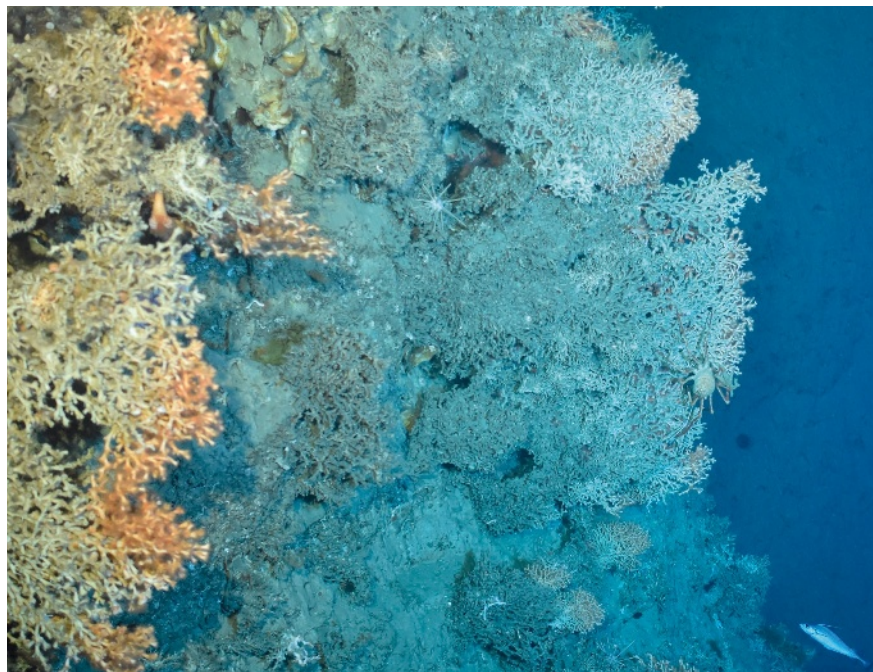
DES ORGANISMES DÉCOUVERTS TARDIVEMENT

Les coraux d'eau froide, eux, ont été découverts bien plus tard, par des pêcheurs norvégiens qui avaient remarqué que le poisson était plus abondant par endroits. Un naturaliste norvégien, Johan Ernst Gunnerus, les a dessinés pour la première fois en 1768 (voir la figure page 60). Depuis, l'intérêt scientifique pour ces espèces n'a fait que croître. Mais les difficultés d'accès à leur habitat ont longtemps limité les connaissances à quelques captures, réalisées au cours d'expéditions océanographiques à partir de la fin du XIX^e siècle. Citons celles menées par les zoologistes français Georges Pruvôt et Henri de Lacaze-Duthiers, créateur en 1882 du laboratoire Arago (aujourd'hui observatoire océanologique de Banyuls-sur-Mer), ou les campagnes scientifiques du Prince Albert I^{er} de Monaco, entre 1885 et 1915.

Ces premiers indices de coraux constructeurs de récifs vivant dans les profondeurs ont alimenté l'imaginaire populaire. Jules Verne, toujours au fait des progrès scientifiques, les a mentionnés dans son roman *Vingt Mille Lieues sous les mers*. Pourtant, ces coraux de mer profonde ont longtemps été mal vus car ils déchiraient les chaluts, ces immenses filets tirés par les chalutiers.

De leur côté, des chercheurs commençaient à décrire la biologie de ces curieux animaux. Ainsi, en 1948, le biologiste français Édouard Le Danois publia les premières descriptions d'assemblages d'espèces en fonction de la profondeur, dans le golfe de Gascogne (qui s'étend du large de la Bretagne jusqu'en Galice). Il y illustra en particulier cinq massifs coralliens qui dominent le paysage sous-marin entre 300 et 1 800 mètres de profondeur.

Les recherches ont pris un véritable élan dans les années 1960 grâce à la soucoupe plongeante du commandant Cousteau. Les plongées se sont alors succédé en Méditerranée. Jean Vacelet, biologiste à la station marine d'Endoume, laboratoire de zoologie et biologie marine de Marseille, fit les premières observations *in situ* de bouquets de coraux jaunes, *Dendrophyllia cornigera*, à 150 mètres de profondeur en tête du canyon sous-marin de Cassidaigne, au large de Marseille (un canyon sous-marin est une vallée profonde et étroite qui entaille le talus continental; environ 300 d'entre eux incisent ainsi la façade atlantique française, et 35 la côte méditerranéenne).



SUR UN FLANC DE FALAISE

Cette photo a été prise en août 2021 sur un flanc de falaise à environ 900 mètres de profondeur dans le canyon de Lampaul, au large de Brest. On voit essentiellement des *Lophelia pertusa* (la teinte rosée correspondant aux tissus vivants de la colonie), quelques *Madrepora oculata* (plus petits, avec des polypes en zigzag), un petit nombre de *Desmophyllum dianthus* (gros polypes solitaires) fixés à la base des colonies de *Lophelia* ainsi que des huîtres (en jaune, collées sur le substrat dur ou sur la base des colonies) complètent la faune fixée. Des espèces mobiles viennent se réfugier dans ces massifs : on distingue notamment un poisson *Lepidion* (de la famille des morues), un crabe *Paromola cuvieri*, un oursin *Cidaris cidaris*.

De son côté, Daniel Reyss, biologiste au laboratoire Arago de Banyuls-sur-Mer, prit les premières photographies sous-marines de récifs coralliens à 300 mètres de profondeur. Il mit en lumière une myriade de colonies de *Madrepora oculata* recouvrant le flanc des falaises du canyon Lacaze-Duthiers, situé à près de 20 kilomètres au large de Banyuls-sur-Mer et qui s'enfonce jusqu'à 2 000 mètres de profondeur.

DES ÉCOSYSTÈMES AUJOURD'HUI ACCESSIBLES

Depuis les années 2000, les écosystèmes coralliens de profondeur sont réellement devenus accessibles aux chercheurs grâce aux appareils submersibles de nouvelle génération. Plus maniables, plus autonomes, permettant d'aller plus profond, ces engins sont de plus équipés de bras préhensibles pour la collecte d'échantillons. Les campagnes d'exploration puis d'études *in situ* (suivis de croissance, de nutrition, analyse comportementale...) se succèdent alors dans l'Atlantique et en Méditerranée (voir la photo page 62), complétées par des expérimentations en aquarium.

On estime aujourd'hui que les eaux froides ou profondes, qui représentent 90% des fonds océaniques, abritent plus de la moitié des 5 100 espèces de coraux connues. Par exemple,