

# Des pigments coralliens qui optimisent la photosynthèse



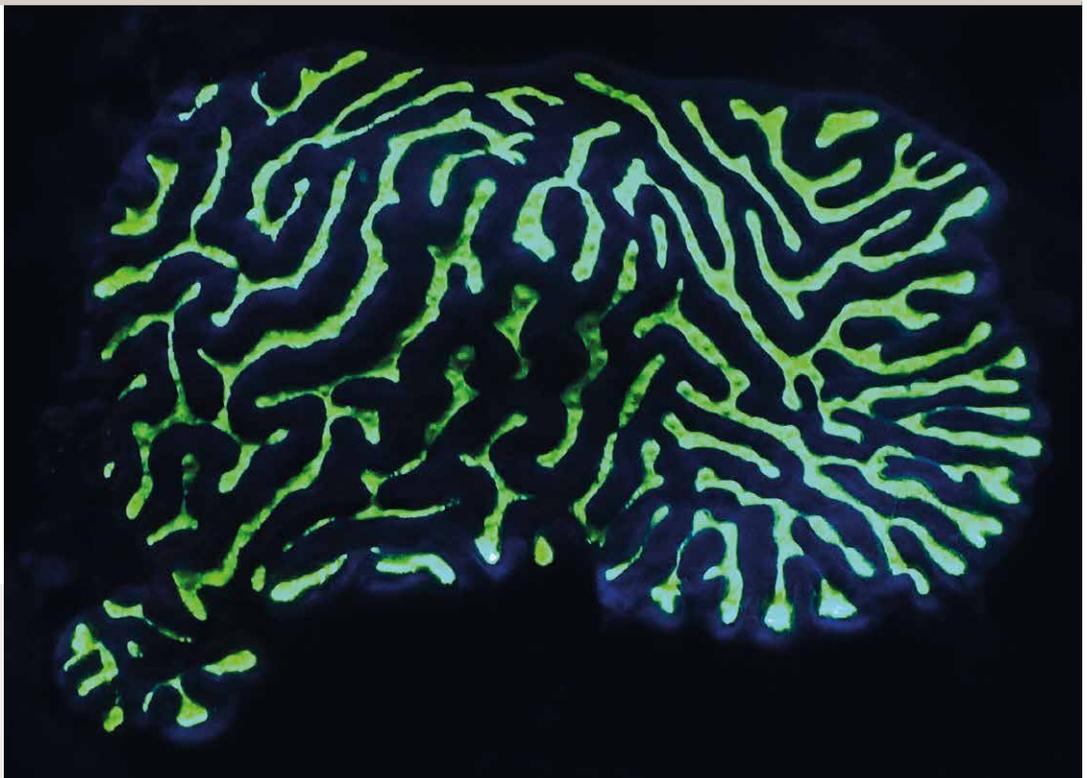
**L**es coraux constructeurs de récifs développent les écosystèmes les plus diversifiés de la planète, véritables oasis dans un océan qui, par ailleurs, nous semble désert. Ils abritent ainsi, sur moins de 0,2 % de la surface des océans, plus de 30 % de toutes les espèces multicellulaires marines nommées. Mais ces mêmes

récifs sont aussi, aujourd'hui, les écosystèmes les plus menacés par les activités humaines.

En effet, le GIEC prévoit, avec 99 % de certitude, que la totalité des récifs coralliens pourrait disparaître à la fin de ce siècle à cause d'une augmentation de la température de 2 °C... qui ont de grandes chances

## CURIOSITÉS MARINES

**Denis Allemand,**  
directeur scientifique  
du Centre scientifique  
de Monaco



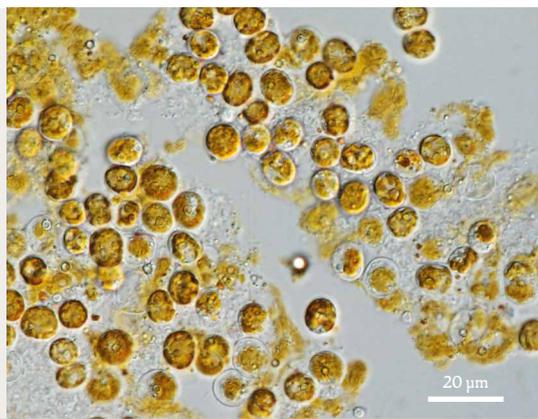
Motifs fluorescents réticulés d'une colonie de *Platygyra* sp. (cliché Wiedenmann et D'Angelo, université de Southampton).

d'être dépassées. Leur succès écologique est aussi leur talon d'Achille: il résulte de microalgues qui vivent en symbiose à l'intérieur de leurs cellules, une association mutualiste contractée il y a près de 240 millions d'années. Ces microalgues, appelées zooxanthelles, leur fournissent en effet jusqu'à 95 % de leur nourriture, dans le cadre d'une symbiose dont les mécanismes intimes sont encore largement méconnus. Un article publié par une équipe internationale menée par Elena Bollati et Jörg Wiedenmann (de l'université de Southampton, Angleterre) lève aujourd'hui le voile sur un débat vieux de trente ans et montre une fois de plus la complémentarité des deux partenaires dans le fonctionnement du corail.

## Une symbiose entre un animal et une microalgue

Mais d'abord, un petit retour historique est nécessaire. C'est le botaniste polonais Leon Cienkowski qui découvrit en 1871, au sein des radiolaires, des "cellules jaunes" qu'il assimila à des algues: il les appela zoospores et le zoologue et biologiste marin allemand Karl Brandt leur donna, en 1881, leur nom actuel de zooxanthelles (étymologiquement: "corps jaunes animaux"). Très rapidement, la même année, la biologiste austro-hongroise Gesa Entz suggère qu'il s'agit d'algues intégrées dans un organisme animal. Mais leur rôle est débattu: rôle

Les zooxanthelles, les algues symbiotes des coraux, sont des dinoflagellés du genre *Symbiodinium* (ici, l'espèce *Symbiodinium kawagutii*; cliché L. Haramaty/CC).



bénéfique ou plutôt parasite? Dans les années 1880, les travaux du biologiste et urbaniste écossais Patrick Geddes et de Karl Brandt, réalisés à Roscoff et à la station de Naples sur des anémones de mer, vont démontrer que ces algues jouent un rôle dans la nutrition de leur hôte. Entretemps, le concept de symbiose était né (en 1879) à la suite des travaux du biologiste allemand Albert Bernhard Frank et du microbiologiste prussien Anton de Bary. Il faudra cependant attendre les années 1960 et les travaux du biologiste américain Leonard Muscatine pour avoir une quantification de l'importance du rôle nutritionnel des zooxanthelles. Dans les années 1990, les chercheurs du Centre scientifique de Monaco étudient les mécanismes adaptatifs développés par les deux partenaires.

## Des adaptations complexes

Le succès de la symbiose entre les coraux et leurs zooxanthelles dépend de la photosynthèse réalisée par ces dernières pour satisfaire les besoins métaboliques des premiers. La distribution des coraux constructeurs de récifs est donc limitée par la disponibilité du rayonnement utilisé par les pigments

chlorophylliens, appelé "rayonnement photosynthétiquement actif" (400 à 700 nm). Ce rayonnement peut fortement varier selon la saison, l'irradiance\*, la profondeur, etc. Les paires coraux-zooxanthelles se sont adaptées à ces variations au cours de l'évolution, notamment grâce à des mécanismes qui optimisent la photosynthèse de l'algue. Certains de ces mécanismes impliquent des changements de la morphologie de la colonie corallienne qui adopte, par exemple, une forme branchue en surface et plate en profondeur (on parle de "plasticité phénotypique"), optimisant ainsi la captation de la lumière et donc la photosynthèse de ses symbiotes. Le comportement des polypes peut également être modifié par contraction/expansion pour réduire ou accroître, au besoin, la surface d'absorption de la lumière. Les tentacules des polypes peuvent eux-mêmes former des bulles qui augmentent la surface d'absorption de la lumière.

D'autres mécanismes sont de nature biochimique. La concentration des pigments photosynthétiques peut en effet varier dans les zooxanthelles (un phénomène appelé photo-acclimatation). Mais le symbiote n'est pas seul à synthétiser des pigments: l'hôte

\* **Irradiance**: puissance d'un rayonnement électromagnétique (lumière) frappant une surface, corrigée pour tenir compte de l'angle d'incidence des rayons. Elle s'exprime en W/m<sup>2</sup>.

corallien peut également moduler la lumière incidente en synthétisant ses propres pigments. Parmi ces mécanismes, une question a fait l'objet de débats nourris : le rôle des pigments de la superfamille des protéines à fluorescence verte (ou *green fluorescent proteins*, GFP).

### Des pigments fluorescents aux fonctions débattues

Ces protéines pigmentaires sont omniprésentes chez les cnidaires. Elles ont en commun une structure chimique similaire leur conférant la capacité d'absorber le rayonnement visible ou ultraviolet, mais leurs propriétés optiques sont très variables, si bien qu'elles réémettent de la lumière dans une large gamme de régions spectrales (dans les régions du bleu, du vert ou du rouge). En 1962, Osamu Shimomura (1928-2018), du Marine Biological Laboratory, à Woods Hole (Massachusetts, USA) est le premier à isoler, chez la méduse *Aequorea victoria*, le plus célèbre de ces pigments fluorescents, la GFP. Avec Roger Tsien (1952-2016) et Martin Chalfie (né en 1947), il sera colauréat, en 2008, du prix Nobel de chimie pour leurs travaux sur « *la découverte et le développement de la protéine fluorescente verte, la GFP* ».

Ces protéines fluorescentes se trouvent dans les deux couches cellulaires des cnidaires : la couche ectodermique (ou épidermique), en contact avec l'eau de mer, et la couche endodermique (ou gastroderme), faisant face à la cavité interne de

l'animal et où se trouvent les zooxanthelles. Elles sont généralement plus concentrées dans la couche ectodermique. Plusieurs fonctions ont été suggérées. La première, définie dès 1944 par le Japonais Kawaguti, est une fonction photoprotectrice. Cette fonction est particulièrement importante quand les GFP sont présentes en grande quantité dans l'ectoderme : elles réduisent alors la quantité de lumière qui atteint les zooxanthelles, les protégeant ainsi d'un excès de lumière. Dans les années 2000, il a également été suggéré, par Michaël Lesser et ses collègues de l'université du New Hampshire (Durham, USA), que les protéines GFP pourraient jouer un rôle de défense antioxydante. Elles auraient aussi une action dans l'écologie des coraux vivant entre 30 et 160 m de profondeur sous faible lumière (coraux mésophotiques) en attirant des proies planctoniques, comme l'ont démontré récemment Or Ben-Zvi et ses collègues de l'université de Tel Aviv et de la station marine d'Eilat, en Israël : ils ont pu observer

que le plancton nage de manière préférentielle vers les signaux fluorescents verts émis par certains coraux mésophotiques.

### Augmenter l'irradiance

Enfin, l'Allemand Dietrich Schlichter et ses collaborateurs ont proposé, en 1986, que les GFP, lorsqu'elles étaient localisées dans la couche cellulaire endodermique, pourraient augmenter la photosynthèse des symbiotes chez les coraux mésophotiques. Elles convertiraient, par fluorescence, les rayonnements non photosynthétiquement actifs en rayonnements utilisables par la

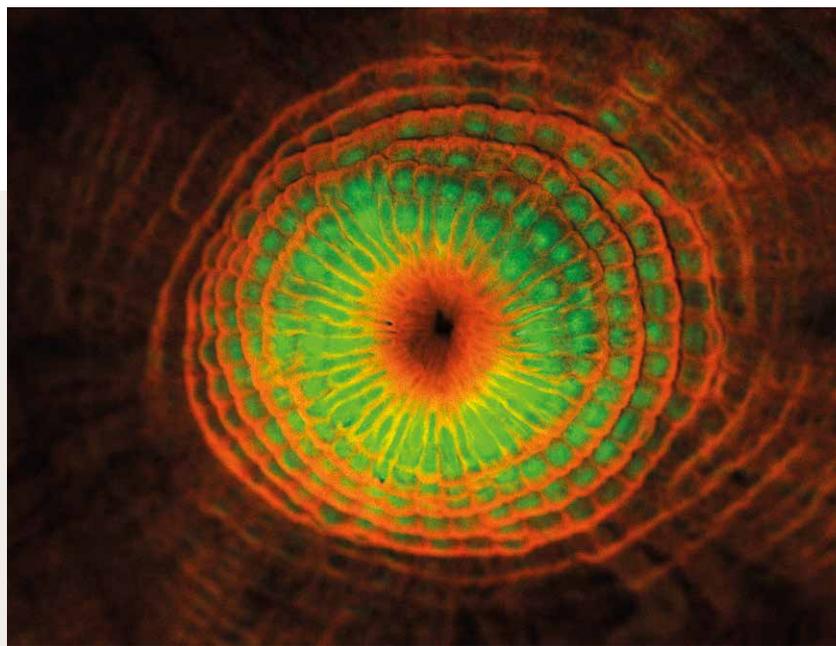
Lors des phénomènes de blanchissement du corail, l'expulsion des zooxanthelles accroît le flux lumineux traversant les tissus des polypes. En réponse, ceux-ci activent leur production de protéines de type GFP, ce qui peut donner au récif un aspect multicolore (cliché Bollati *et al.*, 2020, *Current Biology*).



chlorophylle. Mais cette fonction restait très débattue – et est encore contestée par certains – car les preuves manquaient ou étaient indirectes : mesures effectuées en dehors du tissu corallien, sur des symbiotes isolés ou par simulation optique.

Pour tenter d'y voir plus clair, Elena Bollati et ses collègues ont développé, pour leur étude parue cette année, une méthodologie originale de mesure directe des conditions lumineuses *in vivo* – à l'intérieur du tissu corallien – à l'aide de micro-capteurs optiques connectés à un spectromètre. Un profil d'irradiance est alors réalisé sur toute l'épaisseur des tissus du corail (environ 150 à 900 µm selon les espèces utilisées : *Pocillopora damicornis*, *Montipora cavernosa* et *Echinophyllia* sp.). Bollati et ses collègues montrent par ces mesures directes que l'irradiance à travers le spectre visible augmente de 120 à 180 %. Cette augmentation serait due à la transformation des longueurs d'onde dans le bleu, abondantes dans le milieu mésophotique, en longueurs d'onde plus élevées (dans le vert ou dans le rouge), assimilables par les pigments photosynthétiques.

Ces études suggèrent que la coadaptation entre les partenaires de cette symbiose, qui mettent en commun plusieurs moyens pour optimiser leur métabolisme, est encore plus sophistiquée que ce que l'on pensait jusqu'à maintenant : le pigment de l'hôte optimise la photosynthèse du symbiote... ce qui lui permet, en retour, d'améliorer sa propre nutrition.



Un polype contracté de *Montipora cavernosa* mettant en évidence la localisation des protéines fluorescentes vertes et rouges (cliché Wiedenmann et D'Angelo, université de Southampton).

De nombreux autres mécanismes se cachent derrière cette étroite coopération entre les deux partenaires ; nous en avons brièvement évoqué certains ci-dessus (protection antioxydante, écran contre les ultraviolets, etc.). De plus, on sait aujourd'hui que le corail n'héberge pas que des zooxanthelles, mais aussi des bactéries, des virus et d'autres protistes (voir notre chronique dans *Espèces n° 37*) : on imagine alors à peine la complexité du corail que nos activités semblent pourtant condamner à court terme. Une raison de plus pour protéger ces écosystèmes si particuliers. ■

Retrouvez d'autres chroniques et de nombreuses informations sur [www.centrescientifique.mc](http://www.centrescientifique.mc)

## POUR EN SAVOIR PLUS

- **Allemand D. et Osborn D., 2019** – “Ocean acidification impacts on coral reefs: From sciences to solutions”, *Regional Studies in Marine Science*, 28, 100558 [Doi: 10.1016/j.rsma.2019.100558].
- **Ben-Zvi O., Lindemann Y. et al., 2022** – “Coral fluorescence: a prey-lure in deep habitats”, *Communications Biology*, 5, 537 [Doi: 10.1038/s42003-022-03460-3].
- **Bollati E., Lyndby N. H. et al., 2022** – “Green fluorescent protein-like pigments optimize the internal light environment in symbiotic reef-building corals”, *eLife*, 11, e73521 [Doi: 10.7554/eLife.73521].
- **Bou-Abdallah F., Chasteen N. D. et Lesser M., 2006** – “Quenching of superoxide radicals by green fluorescent protein”, *Biochimica Biophysica Acta* 1760(11), p. 1690-1695 [Doi: 10.1016/j.bbagen.2006.08.014].
- **Furla P., Allemand D. et al., 2005** – “The symbiotic anthozoan: a physiological chimera between alga and animal”, *Integrative and Comparative Biology*, 45, p. 595-604 [Doi: 10.1093/icb/45.4.595].