

UN MONDE INVISIBLE INCROYABLE : COMMENT LES MICROBES PRENNENT SOIN DES CORAUX DANS LES TEMPS DIFFICILES

Phillipe Rosado¹, Natascha Varona², Jonathan A. Eisen² et Raquel S. Peixoto^{1,2,3*}

¹Laboratoire d'écologie microbienne moléculaire, Institut de microbiologie Paulo de Góes, Université fédérale de Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brésil

²Centre Génome, Université de Californie, Davis, Californie, États-Unis

³Centre de recherche IMAM-AquaRio-Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brésil

JEUNES EXAMINATEURS/TRICES :



BRAYDEN

ÂGE : 11



CECILIA

ÂGE : 11



NAGA

ÂGE : 15



SAGE

ÂGE : 10

As-tu déjà plongé dans l'océan et vu sous l'eau des « roches » colorées ? Ces roches étaient peut-être des coraux, qui sont des animaux ! Ils forment des récifs coralliens et sont très importants, car la survie de milliers d'animaux marins en dépend. Sais-tu que les coraux et les humains ont quelque chose en commun ? Ils hébergent des micro-organismes mutualistes (ou comme nous aimons les appeler, des M&Ms). Les micro-organismes mutualistes sont de minuscules organismes qui renforcent et aident les humains et les coraux lorsqu'ils tombent malades. L'élévation de la température de l'eau de mer est l'une des principales causes de maladie et de mort des coraux. Ce qui est curieux, c'est qu'à certains endroits, comme dans la mer Rouge, la température de l'eau est plus élevée qu'ailleurs, et pourtant plusieurs coraux y vivent très bien. Comment



SAVANA

ÂGE : 13



UMAIRAH

ÂGE : 15

est-ce possible ? Les M&Ms aident-ils les coraux à survivre dans ces environnements plus chauds ?

UN ANIMAL ANCIEN EN DÉTRESSE

Les coraux vivent dans les océans depuis longtemps, des millions d'années. Ils sont probablement apparus avant même les dinosaures. Actuellement, les récifs coralliens ne couvrent que 1 % de la superficie des océans, mais la survie d'un animal marin sur quatre en dépend. C'est dans les récifs coralliens que ces animaux marins établissent leur habitat, trouvent leur nourriture, se protègent des prédateurs et élèvent leurs petits [1]. Et si les coraux disparaissaient à jamais ? Où vivraient tous les autres animaux qui en dépendent ? Ce serait sûrement une grande catastrophe (Figure 1).

Figure 1

(A) Un récif corallien sain, vivant en harmonie avec d'autres êtres marins. (B) Un récif corallien malade et blanchi, sans autres êtres marins vivants.

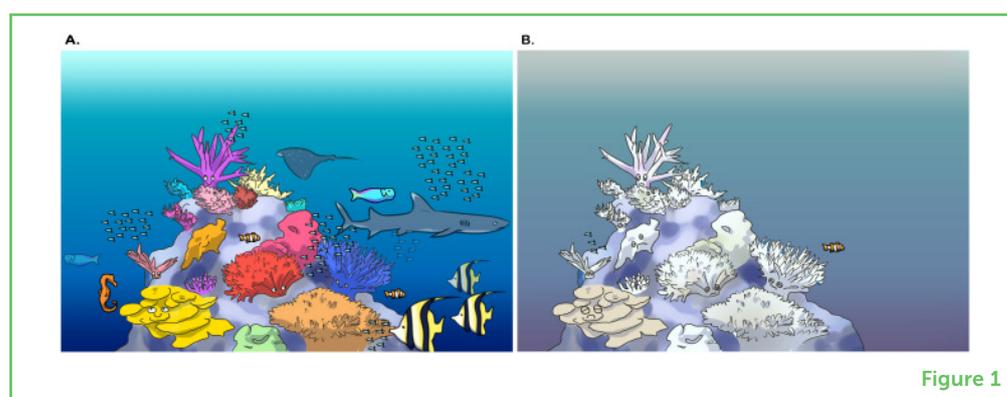


Figure 1

ORGANISMES

Être vivant organisé comme une plante, un animal, un être humain ou un microbe.

PHOTOSYNTHÈSE

Procédé chimique par lequel les plantes vertes et certains microbes utilisent l'énergie de la lumière du soleil pour fabriquer des sucres à partir du dioxyde de carbone.

NUTRIMENTS

Substance alimentaire qui peut être assimilée par un organisme sans nécessiter de transformations digestives.

MUTUALISME

Interaction entre deux ou plusieurs espèces dans laquelle chaque organisme bénéficie de l'interaction d'une manière ou d'une autre.

L'une des grandes menaces pour le corail est la hausse de la température des océans. Bien que les coraux existent depuis des millions d'années, ce sont des animaux fragiles à certains égards, en particulier en ce qui concerne les changements de température. Voici ce qui se passe : de très petits **organismes** appelés zooxanthelles vivent dans la plupart des coraux des eaux peu profondes. Ces zooxanthelles peuvent réaliser la **photosynthèse** : elles peuvent transformer la lumière du soleil en nourriture. Ils sont si performants qu'ils en produisent assez pour se nourrir eux-mêmes et le corail. La principale source de nourriture et d'énergie pour la croissance du corail provient donc des zooxanthelles qu'ils hébergent. En retour, les coraux protègent les zooxanthelles et leur fournissent certains **nutriments** pour les aider à grandir. Cette relation très amicale entre le corail et les zooxanthelles est connue sous le nom de « **mutualisme** ».

À mesure que la température des océans augmente, en grande partie à cause du réchauffement climatique et de l'effet de serre, l'amitié entre les coraux et les zooxanthelles se détériore. Les zooxanthelles produisent moins de nourriture et fabriquent certains composés toxiques, et les coraux commencent à s'en débarrasser. Les coraux

perdent ainsi leur principale source d'énergie et les belles couleurs qu'ils avaient autrefois. Ce phénomène est appelé blanchissement des coraux [2]. Comme les zooxanthelles aident à protéger les coraux du soleil, lorsque les coraux blanchissent, ils ne sont plus protégés des effets nocifs de la lumière directe du soleil. Dans les cas extrêmes, certains coraux essaient de se protéger en augmentant leurs propres couleurs bleutées, jaunâtres ou violettes [3]. Ces couleurs vives agissent comme un écran solaire et sont le dernier recours dont disposent certains coraux pour se protéger du soleil.

Si les coraux perdent des zooxanthelles pendant une longue période, ils n'ont plus l'énergie nécessaire pour survivre et finissent par mourir. C'est le principal effet négatif de la hausse des températures des océans, et c'est là que les M&Ms peuvent aider les coraux grâce à leur rôle de **probiotiques**.

PROBIOTIQUES

Micro-organismes vivants bénéfiques pour la santé lorsqu'ils sont donnés à un hôte.

HÔTE

Organisme qui en héberge un autre et qui lui fournit généralement un abri et de la nourriture.

AGENTS PATHOGÈNES

Pathogène signifie « qui peut rendre malade ». Les agents pathogènes sont, en particulier, des micro-organismes comme certaines bactéries, certains champignons microscopiques, des parasites ou des virus.

MICRO-ORGANISME

Organisme invisible à l'oeil nu. Les microbes comprennent par exemple les bactéries, les archées et des eucaryotes microscopiques (algues, champignons, parasites). On a coutume d'y inclure aussi les virus.

LES GRANDS SAUVEURS : LES PROBIOTIQUES

Les probiotiques sont des micro-organismes qui sont bénéfiques pour la santé de l'organisme **hôte**, c'est-à-dire l'organisme dans ou sur lequel ils vivent. Chez l'humain, par exemple, les probiotiques sont utilisés pour aider à la digestion des aliments et pour protéger contre l'invasion par des **agents pathogènes**, qui sont des **micro-organismes** qui peuvent nous rendre malades. Les M&Ms sont de bons candidats pour une utilisation en tant que probiotiques, car on sait déjà comment ils peuvent rendre service à leurs hôtes. Les interactions positives entre les M&Ms et leurs hôtes ne se produisent pas seulement chez les humains et les coraux. La croissance de nombreuses plantes dépend aussi d'une relation mutualiste avec des micro-organismes associés à leurs racines.

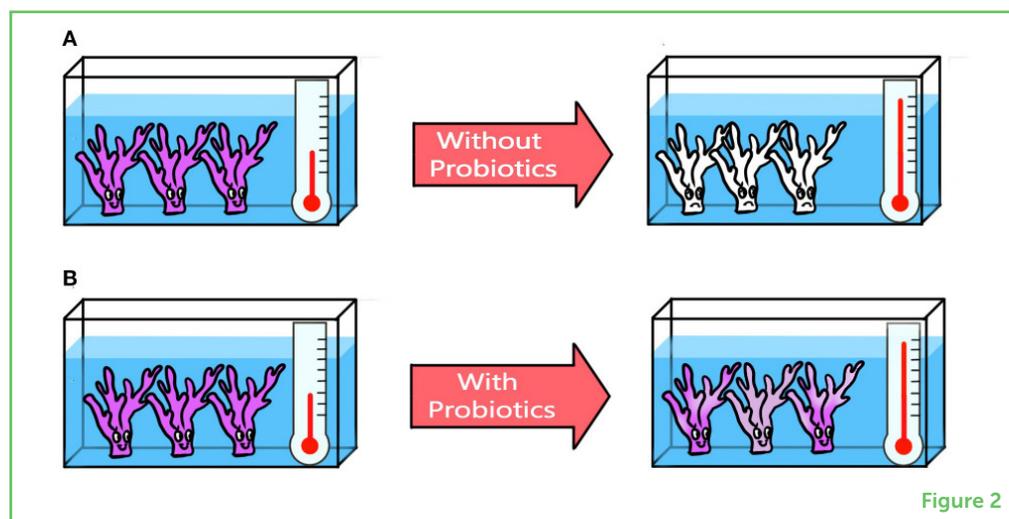
Se pourrait-il qu'en fournissant plus de micro-organismes mutualistes aux coraux en difficulté on les aide à survivre dans des eaux plus chaudes? Même s'ils n'ont pas de tube digestif comme les humains, ou de racines comme les plantes, les coraux sont associés à plusieurs micro-organismes qui peuvent leur être bénéfiques. Ces micro-organismes les protègent contre les agents pathogènes, leur servent d'aliments et leur fournissent certains nutriments dont ils ont besoin pour se développer [4]. Des chercheurs du monde entier ont étudié si l'utilisation comme probiotiques de certains micro-organismes qui vivent avec les coraux pouvait les aider lorsqu'ils sont menacés par la hausse des températures océaniques.

Une étude récente a montré que c'est bien le cas. Dans cette étude, les chercheurs ont isolé plusieurs micro-organismes qui vivent sur les coraux et les ont cultivés en laboratoire. Tous ces micro-organismes y ont été testés à l'aide de diverses techniques, pour déterminer lesquels d'entre eux pourraient aider des coraux affaiblis à survivre. Les chercheurs en ont retenu sept et ont testé leur capacité à agir comme

probiotiques, c'est-à-dire à protéger les coraux lors d'une hausse de température de l'eau (Figures 2A, B).

Figure 2

Les probiotiques coralliens aident les coraux à survivre à des températures plus élevées. **(A)** Les coraux qui ne sont pas protégés par les probiotiques perdent leurs zooxanthelles et blanchissent lorsque la température monte de 4 °C au-dessus de la température habituelle. **(B)** Les coraux protégés par des probiotiques ne perdent pas leurs zooxanthelles et conservent leur couleur, même lorsque la température monte de 4 °C au-dessus de la température habituelle. Cela nous indique que certains micro-organismes probiotiques peuvent aider à protéger les coraux contre les élévations de la température.



Pour visualiser cette expérience, imagine deux aquariums de la taille d'une boîte à chaussures, chacun avec de l'eau et trois petits coraux de la taille d'une balle de ping-pong. Les chercheurs ont réchauffé l'eau des deux aquariums jusqu'à une température à laquelle les coraux commencent à s'affaiblir. Ils ont ajouté des micro-organismes probiotiques dans un des deux aquariums et pas dans l'autre. Les chercheurs ont constaté que les coraux ayant reçu des M&Ms étaient beaucoup plus forts, en meilleure santé et plus colorés que les coraux qui n'en avaient pas eu. Cette expérience a montré pour la première fois que les probiotiques peuvent aider les coraux à survivre lorsqu'ils sont malades ou stressés par les augmentations de température. Une animation montrant le fonctionnement des probiotiques coralliens est disponible sur YouTube (<https://youtu.be/toYkTciZyuQ>). Rappelle-toi que, jusqu'à présent, ces probiotiques n'ont été testés qu'en laboratoire et avec quelques espèces de coraux seulement. Nous ne savons donc pas encore avec certitude s'ils fonctionneraient sur tous les coraux dans leur environnement océanique naturel.

COMMENT LES PROBIOTIQUES AIDENT-ILS VRAIMENT LES CORAUX ?

Les chercheurs ne comprennent pas encore exactement comment les probiotiques aident les coraux. Il est possible que ces micro-organismes aident à maintenir la relation mutualiste entre les zooxanthelles et les coraux, réduisant ainsi le blanchiment. Peut-être que les micro-organismes parviennent à apaiser cette relation troublée par des températures plus élevées, en empêchant par exemple les coraux d'expulser les zooxanthelles et de perdre ainsi la principale source d'énergie pour leur croissance.

Une autre possibilité est que les micro-organismes probiotiques eux-mêmes fournissent de l'énergie aux coraux, en libérant de grandes quantités de nutriments ou en devenant eux-mêmes nourriture. Si les micro-organismes probiotiques nourrissent les coraux, ces derniers pourraient ressentir moins de stress quand ils perdent une partie de leurs zooxanthelles. Des études sont en cours pour découvrir plus exactement comment les organismes probiotiques aident les coraux et comprendre ce qui se passe réellement dans l'interaction entre les micro-organismes, les zooxanthelles et les coraux.

LA MER ROUGE : UNE SOURCE POSSIBLE DE PROBIOTIQUES

Connais-tu un endroit où la température moyenne de l'océan est naturellement élevée? Un endroit où l'eau est si chaude qu'aucun corail qui vit ailleurs dans le monde ne peut survivre? Cet endroit existe, c'est la mer Rouge, qui se trouve entre l'Afrique et l'Asie. La température de l'eau peut y atteindre jusqu'à 33 °C avec une moyenne annuelle de 27 °C [5], alors que la température des océans ailleurs dans le monde où vivent les coraux est plutôt de 25 °C.

Cette différence de température entre la mer Rouge et d'autres mers du monde peut sembler faible, mais pour les coraux, qui sont très sensibles aux changements de température, elle est importante et dangereuse. Alors comment les coraux peuvent-ils vivre heureux dans la mer Rouge depuis des milliers d'années? Les scientifiques pensent que c'est grâce à leur cohabitation avec des micro-organismes. Ces micro-organismes ont évolué avec les coraux et se sont adaptés à des températures plus élevées. Ainsi, ils donnent aux coraux assez de force pour survivre à ces températures élevées. La mer Rouge est donc une source possible de nouveaux probiotiques.

Des études sont menées à l'heure actuelle en mer Rouge pour trouver de nouveaux micro-organismes capables de transformer les coraux en super coraux qui peuvent survivre à des températures élevées. Si nous en trouvons, nous pourrions les utiliser pour protéger les coraux qui souffrent de l'élévation des températures océaniques dans d'autres régions du monde. Cela pourrait réduire leur stress thermique et les aider à survivre, et sauver ainsi toutes les autres créatures marines qui dépendent des récifs coralliens.

ARTICLE SOURCE ORIGINAL

Rosado, P. M., Leite, D. C. A., Duarte, G. A. S., Chaloub, R. M., Jospin, G., Nunes da Rocha, U., et al. 2018. Marine probiotics : increasing coral resistance to bleaching through microbiome manipulation. *ISME J.* 13:921–36. doi: 10.1038/s41396-018-0323-6

CONTRIBUTIONS À LA VERSION FRANÇAISE

TRADUCTEUR : **Jean-Marie Clément** (Association Jeunes Francophones et la Science, Montpellier, France)

ÉDITEURS : **Catherine Braun-Breton et Sylvie Boussès-Hurtrez** (Association Jeunes Francophones et la Science, Montpellier, France)

MENTOR SCIENTIFIQUE : **Guillaume Bossis** (IGMM, Montpellier, France)

JEUNE EXAMINATEUR : **Juliette**, 11 ans. Je m'appelle Juliette, j'ai 11 ans et je suis en classe de 6^e à Montpellier. J'aime lire, faire des activités manuelles (dessin, couture, broderie) et faire de la gymnastique.



RÉFÉRENCES

1. Sheppard, C., Davy, S., Pilling, G., and Graham, N. 2018. *The Biology of Coral Reefs. 2nd Edn.* Oxford : Oxford University Press. doi: 10.1093/oso/9780198787341.001.0001
2. Hughes, T. P., Kerry, J. T., Alvarez-Noriega, M., Alvarez-Romero, J. G., Anderson, K. D., Baird, A. H., et al. 2017. Global warming and recurrent mass bleaching of corals. *Nature* 543:373–7. doi: 10.1038/nature21707
3. Gittins, J. R., D'Angelo, C., Oswald, F., Edwards, R. J., and Wiedenmann, J. 2015. Fluorescent protein-mediated colour polymorphism in reef corals : multicopy genes extend the adaptation/acclimatization potential to variable light environments. *Mol. Ecol.* 24:453–65. doi: 10.1111/mec.13041
4. Peixoto, R. S., Rosado, P. M., Leite, D. C. A., Rosado, A. S., and Bourne, D. G. 2017. Beneficial microorganisms for corals (BMC) : proposed mechanisms for coral health and resilience. *Front. Microbiol.* 8:341. doi: 10.3389/fmicb.2017.00341
5. Sawall, Y., Al-Sofyani, A., Banguera-Hinestroza, E., and Voolstra, C. R. 2014. Spatio-temporal analyses of symbiodinium physiology of the coral *Pocillopora verrucosa* along large-scale nutrient and temperature gradients in the Red Sea. *PLoS ONE* 9:e103179. doi: 10.1371/journal.pone.0103179

PUBLIÉ EN LIGNE LE 4 octobre 2023

ÉDITEUR/TRICE : **Rùben Martins Costa**

MENTOR(S) SCIENTIFIQUE(S) : **Inês Raimundo**

CITATION : Rosado P, Varona N, Eisen JA et Peixoto RS (2023) Un monde invisible incroyable : comment les microbes prennent soin des coraux dans les temps difficiles. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2020.00065-fr

TRADUIT ET ADAPTÉ DEPUIS : Rosado P, Varona N, Eisen JA and Peixoto RS (2020) An Incredible Invisible World : How Microorganisms Could Take Care of Corals in Difficult Times. *Front. Young Minds* 8:65. doi: 10.3389/frym.2020.00065

CONFLIT D'INTÉRÊTS : Les auteurs déclarent que les travaux de recherche ont été menés en l'absence de toute relation commerciale ou financière pouvant être interprétée comme un potentiel conflit d'intérêts.

DROITS D'AUTEUR © 2020 © 2023 Rosado, Varona, Eisen et Peixoto. Cet article en libre accès est distribué conformément aux conditions de la licence [Creative Commons Attribution \(CC BY\)](#). Son utilisation, distribution ou reproduction sont autorisées, à condition que les auteurs d'origine et les détenteurs du droit d'auteur soient crédités et que la publication originale dans cette revue soit citée conformément aux pratiques académiques courantes. Toute utilisation, distribution ou reproduction non conforme à ces conditions est interdite.

JEUNES EXAMINATEURS/TRICES



BRAYDEN, ÂGE : 11

Je viens du Montana aux États-Unis et j'aime la randonnée, la plongée en apnée, le hockey en salle, la science, les missions sur Mars et la musique. J'ai un chien qui s'appelle Geba et j'aime regarder *The Mandalorian*.



CECILIA, ÂGE : 11

Salut, je m'appelle Cecilia et j'ai 11 ans. J'aime la lecture et la randonnée. Je joue aussi du piano.



NAGA, ÂGE : 15

Je suis une fille de 15 ans, enfant unique, née et élevée en Inde. Je vis à KAUST depuis 7 ans. J'aime chanter et danser et toutes sortes de sports. J'aime le théâtre, mais pas assez pour le faire en direct car j'oublie toujours mes répliques.



SAGE, ÂGE : 10

Je m'appelle Sage, j'aime le dessin, l'art, et jouer du violon. J'adore aussi écrire des histoires et lire mes livres préférés comme *Septimus Heap* et *Harry Potter*. Je suis créative et j'aime les aventures, j'aime personnaliser des vêtements et faire des bracelets, et je chante bien.



SAVANA, ÂGE : 13

J'adore les chiens, ma couleur préférée est le rouge et j'aime sortir avec mes amis.



UMAIRAH, ÂGE : 15

Je m'appelle Umairah et j'ai 15 ans. Je viens de Malaisie mais je vis en Arabie Saoudite depuis 7 ans. Je joue au volleyball et j'aime la biologie à l'école.

AUTEURS/TRICES



PHILLIPE ROSADO

Je suis diplômé en biologie de l'Université d'État de Rio de Janeiro (UERJ) (2015). J'ai obtenu une maîtrise de l'Université fédérale de Rio de Janeiro (UFRJ) (2017) en écologie microbienne des environnements marins et la manipulation microbienne des coraux. Je poursuis actuellement mon doctorat à l'UFRJ sur la manipulation de produits chimiques extraits de microbiotes coralliens pour augmenter la résilience des coraux au stress thermique et oxydatif. J'ai toujours été fasciné par les aquariums et les coraux, et par le fonctionnement du monde invisible des microbiotes dans ces environnements. C'est pourquoi j'étudie les coraux, essayant de protéger ce merveilleux écosystème du réchauffement climatique.



NATASCHA VARONA

J'ai été initiée à la recherche sur les coraux lors d'un stage à l'Université de Californie à Santa Cruz (UCSC) et je suis immédiatement devenu accro à ces animaux fascinants. Après mon transfert d'un collège communautaire à l'Université de Californie à Davis (UCD), je voulais faire davantage pour protéger les coraux. J'ai donc rejoint un laboratoire de l'UCD qui faisait des recherches sur les probiotiques pour coraux. J'ai récemment obtenu un diplôme en biochimie et biologie moléculaire et j'espère obtenir mon doctorat avec un projet de recherche sur les coraux. J'aime aussi l'art, comme la peinture et le dessin, et j'ai décidé d'utiliser cette compétence pour communiquer sur l'importance des récifs coralliens et la menace à laquelle ils sont confrontés.



JONATHAN A. EISEN

Je suis professeur à l'Université de Californie à Davis, et je fais une petite fixette sur tout ce qui est microbien (et aussi les oiseaux, mais c'est une autre histoire). J'ai travaillé sur les micro-organismes en tant qu'étudiant de premier cycle au Harvard College (sur les symbiotes bénéfiques des palourdes), en tant que doctorant à l'Université de Stanford (sur l'évolution et la mutation de divers microbes), et dans mes postes passés et actuel à la faculté (sur les communautés de micro-organismes, comment ils interagissent les uns avec les autres et avec leurs hôtes, et les méthodes d'étude de ces communautés). Je suis également un blogueur et un communicateur scientifique actif et parfois primé.



RAQUEL S. PEIXOTO

Je suis professeure associée à l'Université fédérale de Rio de Janeiro (UFRJ) et actuellement professeure invitée à l'Université de Californie à Davis. Je travaille avec des micro-organismes bénéfiques depuis mes études de maîtrise (suivi des biomarqueurs de pollution) et mon doctorat à l'UFRJ, où j'ai étudié des micro-organismes bénéfiques capables de protéger les plantes contre des maladies. J'ai associé mes deux passions (les micro-organismes bénéfiques et l'océan) et

fait usage de l'expérience et de l'inspiration acquises lors de mon doctorat pour travailler sur le développement et l'application de ces concepts et idées pour les organismes marins. La façon dont le changement mondial et la pollution affectent les écosystèmes marins m'inquiètent beaucoup, moi et Felipe, mon fils de 7 ans. Il dit qu'il veut être biologiste pour aider à sauver les coraux, bien qu'il aime les insectes et qu'il veuille aussi sauver les abeilles. *raquelpeixoto@micro.ufrj.br

French version provided by
Version française fournie par

