



L'ESCARGOT AFFAMÉ, LE CORAIL FRAGILE ET LE GENTIL MICROBE

Yvan Bettarel^{1*}, Elyse Boudin¹, Sébastien Halary², Jean-Christophe Auguet¹, Jean Péronnin³, Thierry Bouvier¹, Emma Rochelle-Newall⁴, Van Ngoc Bui⁵ et Christelle Desnues⁶

¹UMR MARBEC IRD-CNRS-IFREMER-Université Montpellier, Montpellier, France

²UMR MCAM, Muséum National d'Histoire Naturelle, CNRS, Paris, France

³Lycée professionnel Henri Sainte Claire Deville, Issoire, France

⁴Institut d'écologie et des sciences de l'environnement de Paris (iEES-Paris), Sorbonne Université, Université Paris Est Créteil, IRD, CNRS, INRA, Paris, France

⁵Institut de biotechnologie de Hanoi (IBT), Académie des sciences et de technologie du Vietnam (VAST), Hanoi, Vietnam

⁶MIO, Aix-Marseille Université, Université de Toulon, CNRS, IRD, Marseille, France

Au large des côtes du Vietnam, deux évènements récents ont contribué à la disparition d'une partie des récifs coralliens : l'invasion des coraux par un petit escargot marin, *Drupella*, et l'émergence d'une maladie qui touche certains coraux. Nous avons décidé d'étudier le lien, s'il existe, entre les coraux, l'escargot et cette maladie. Nous avons analysé le mucus qui recouvre la surface de coraux en bonne santé et de coraux envahis par *Drupella*. Ce mucus, produit par les coraux eux-mêmes, est généralement plein de microbes utiles, protégeant les coraux des microbes nuisibles qui peuvent les rendre malades ou les tuer. Nos analyses ont montré que l'escargot, quand il mange les coraux, réduit également l'un de leurs principaux moyens de défense en éliminant la plupart des microbes protecteurs présents dans leur mucus. Cela permet aux microbes nuisibles de causer des dégâts supplémentaires chez les coraux.

PRÉDATEUR. Organisme qui attaque un autre organisme pour s'en nourrir ou pour nourrir ses petits.

PAS D'ÉCHAPPATOIRE POUR LES CORAUX

Face aux attaques de **prédateurs**, les animaux comme les gazelles, les lapins ou les souris peuvent s'enfuir. Pour ces animaux, la fuite est possible car ils sont mobiles. D'autres animaux sont incapables de se déplacer, ou ne peuvent se déplacer que très lentement, sur de petites distances. C'est le cas des coraux. Les coraux sont de minuscules animaux qui vivent ensemble à l'intérieur de squelettes durs qu'ils fabriquent. L'accumulation de ces squelettes, qui persistent après la mort des coraux, forme des structures semblables à des rochers : les récifs coralliens connus pour leur beauté, mais aussi parce qu'ils abritent des milliers d'espèces marines, notamment des poissons, des éponges, des crustacés et des « vers ». Malheureusement, les récifs coralliens sont également connus pour leur fragilité et les menaces qui pèsent sur eux : le réchauffement de l'eau, les prédateurs qui les mangent, les ouragans, les dommages causés par les plongeurs et la pollution, pour n'en citer que quelques-unes. En plus de leur incapacité à fuir les dangers, les coraux ont une croissance très lente, de quelques millimètres par an. Aujourd'hui, un tiers des espèces de coraux est menacé et pourrait disparaître dans un avenir proche.

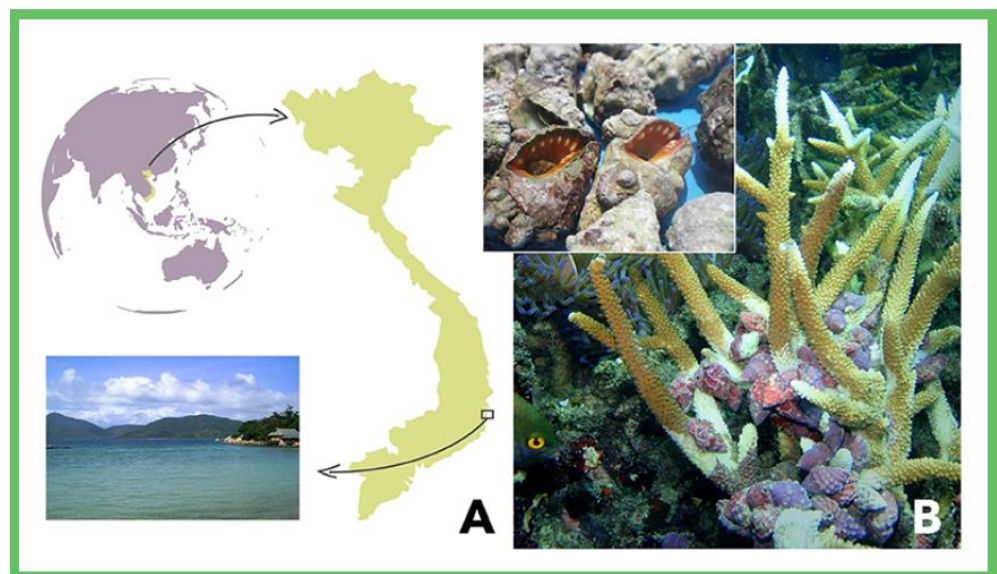


Figure 1 (A) La baie de Nha Trang au Vietnam, où s'est déroulée notre étude. **(B)** *Drupella* mangeant des coraux : certaines parties des coraux sont déjà blanches, c'est la surface broutée par les escargots. Le gros plan montre quelques individus de *Drupella rugosa* (© ConserveMarine, CC BY-SA 4.0).

LES ESCARGOTS ATTAQUENT !

Certaines espèces de poissons et d'étoiles de mer adorent se nourrir de coraux ! Mais on a récemment découvert que *Drupella*, un petit escargot marin originaire des océans Indien et Pacifique, est également un prédateur féroce des coraux. Bien que lents dans leurs déplacements, ces tueurs, de plus en plus nombreux dans certaines régions du monde, peuvent décimer une partie des récifs coralliens.

MALADIES DES CORAUX.

Maladies qui provoquent un blanchiment de la surface des coraux ou la formation de bandes blanches, noires ou brunes. Causées notamment par des bactéries, des virus ou de petits champignons, elles tuent parfois les coraux.

MICROBES. Organismes invisibles à l'œil nu, par exemple des bactéries et des virus, les plus abondants sur Terre ; on les trouve dans l'air, l'eau et sur d'autres organismes.

SYSTÈME IMMUNITAIRE.

Réseau complexe de cellules et d'organes capable de reconnaître des microbes dangereux pour notre santé et de nous défendre contre eux.

MUCUS. Couche visqueuse produite sur la peau de nombreux animaux marins. Elle contient beaucoup de microbes utiles, qui participent notamment à la protection de l'animal contre les envahisseurs microbiens environnants.

VIRUS. Les virus sont des microbes très petits qui contiennent de l'information génétique mais qui sont très différents des bactéries. Ils se reproduisent dans une cellule hôte (celle d'une bactérie ou d'un autre être vivant), y pénètrent, s'y multiplient et généralement en ressortent.

SÉQUENÇAGE DE L'ADN.

Processus qui permet de séquencer l'information génétique (ADN) contenue dans chaque cellule grâce à des machines puissantes.

Notre équipe de recherche s'est rendue dans la baie de Nha Trang au Vietnam. Les coraux y souffraient de la présence de plus en plus importante de *Drupella*. En petit nombre, ces escargots ne font pas beaucoup de dégâts, mais ces dernières années, leur population a fortement augmenté. Les coraux colonisés par les escargots présentent deux caractéristiques intéressantes. Après le passage de *Drupella*, les parties broutées sont totalement blanches et sans vie. Des traces de **maladies coralliennes** sont également visibles sur les parties des coraux que les escargots n'ont pas encore touchées (Figure 1). Le but de notre recherche était d'en savoir plus sur les liens entre les escargots et les maladies qui dévastent les coraux de Nha Trang. Nous voulions voir si les *Drupella* provoquaient ces maladies ou si les coraux étaient déjà malades avant l'arrivée des escargots. Nous avons donc décidé de plonger pour observer les coraux de plus près.

LE MUCUS CORALLIEN, UNE COUCHE PROTECTRICE PLEINE DE MICROBES UTILES

Notre première étape a été de comprendre l'origine de la maladie des coraux. Les coraux étant incapables de se déplacer, ils sont particulièrement vulnérables aux attaques de prédateurs. Cependant, ils peuvent se défendre contre des envahisseurs microbiens, même si tous les **microbes** ne sont pas dangereux pour eux. Certains les aident même à rester en bonne santé ; ils sont considérés comme un élément de leur **système immunitaire** ! C'est dans la couche de **mucus** des coraux que se joue la bataille entre les microbes utiles et les microbes dangereux. Le mucus est une substance épaisse et collante que le corail produit et qui le recouvre entièrement. Cette couche de mucus contient de nombreux microbes utiles qui agissent comme des soldats, éliminant tout autre intrus microscopique capable de provoquer des maladies. Dans notre étude, nous avons voulu comprendre comment ces petits soldats réagissent lors d'une attaque d'escargots. Nous avons donc prélevé le mucus de différents coraux avec et sans *Drupella*, afin de les comparer.

IDENTIFICATION DES MICROBES PRÉSENTS DANS LE MUCUS DES CORAUX

Les microbes, en particulier les bactéries et les **virus** sont incroyablement petits. Pour te donner une idée de l'échelle, les bactéries sont 100 fois plus petites que la largeur d'un seul cheveu et les virus sont plus de 10 fois plus petits que les bactéries ! Il est donc impossible de voir d'aussi petits organismes à l'œil nu. Pour les observer et les identifier, nous utilisons le **séquençage d'ADN**. L'ADN se trouve dans les cellules de tous les organismes vivants. Il contient, sous forme de message codé, l'information qui détermine toutes les caractéristiques de chaque être vivant. Tu peux te le représenter comme un manuel d'instructions écrit avec un alphabet qui ne comporte que quatre lettres différentes ! La différence entre le manuel d'un humain et celui d'un poisson

rouge, c'est l'ordre dans lequel certaines de ces lettres sont agencées. Le manuel de chaque espèce (son ADN) est unique. À l'heure actuelle, nous disposons de machines très performantes qui sont capables de déterminer l'ordre des 4 lettres dans chaque morceau d'ADN mis dans la machine. Nous avons donc extrait le plus d'ADN possible du mucus corallien afin d'identifier le maximum de microbes qui y vivent. Cet ADN a été séquencé, puis nous avons interrogé une base de données dans laquelle est référencé l'ADN de toutes les espèces connues (Figure 2) pour identifier les espèces présentes dans nos échantillons de mucus corallien.

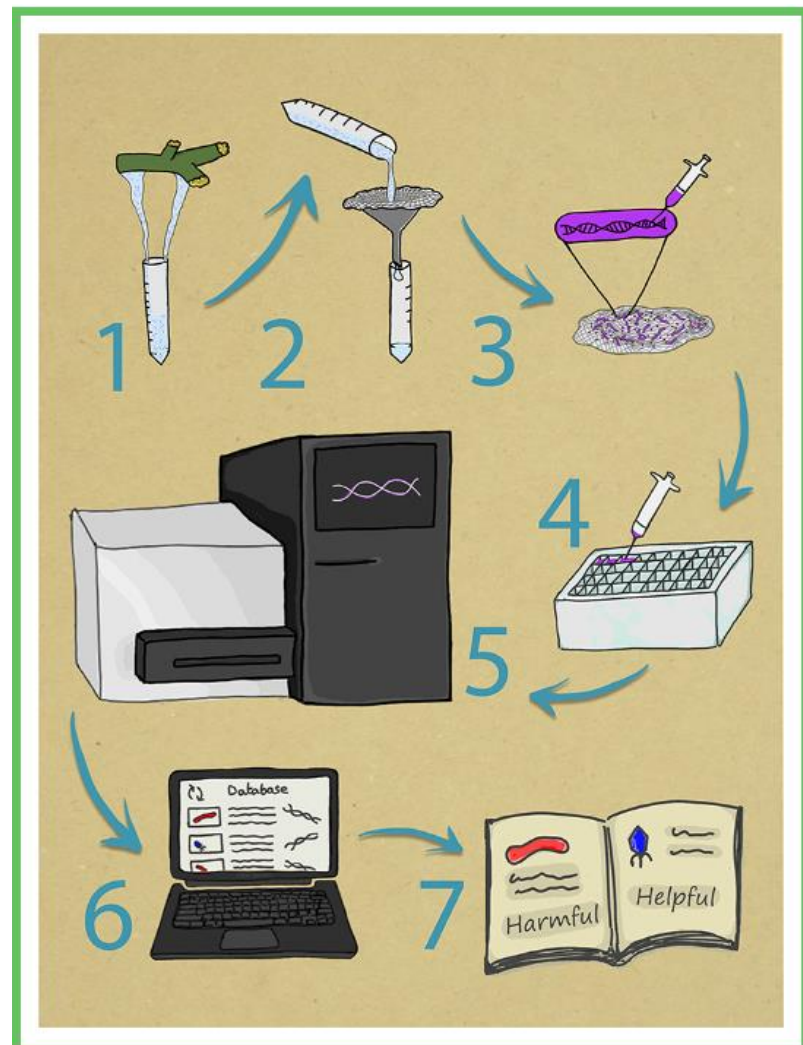


Figure 2. Identification des microbes du mucus des coraux. (1) Le mucus est prélevé sur des coraux sains et sur ceux infestés par des escargots. (2) Le mucus est filtré pour recueillir tous les microbes. (3) L'ADN est extrait des microbes. (4) L'ADN microbien est placé dans de petits godets. (5) Une machine de séquençage détermine la séquence des ADN dans chacun des godets. (6) Un ordinateur analyse les données et recherche la séquence dans une bibliothèque contenant les séquences d'ADN de tous les microbes connus. (7) Cela nous indique quels microbes, utiles ou nuisibles, sont présents dans le mucus (©Elyse Boudin).

LES ESCARGOTS ENDOMMAGENT LES CORAUX ET LEUR MUCUS

Nous avons trouvé que les bactéries et les virus présents dans le mucus des coraux colonisés par les escargots étaient différents de ceux dans les coraux en bonne santé, épargnés par les escargots, et ils étaient beaucoup plus nombreux. Malheureusement, en présence d'escargots, de nombreux microbes utiles avaient été remplacés par des microbes nuisibles capables de déclencher des maladies chez les coraux (Figure 3).

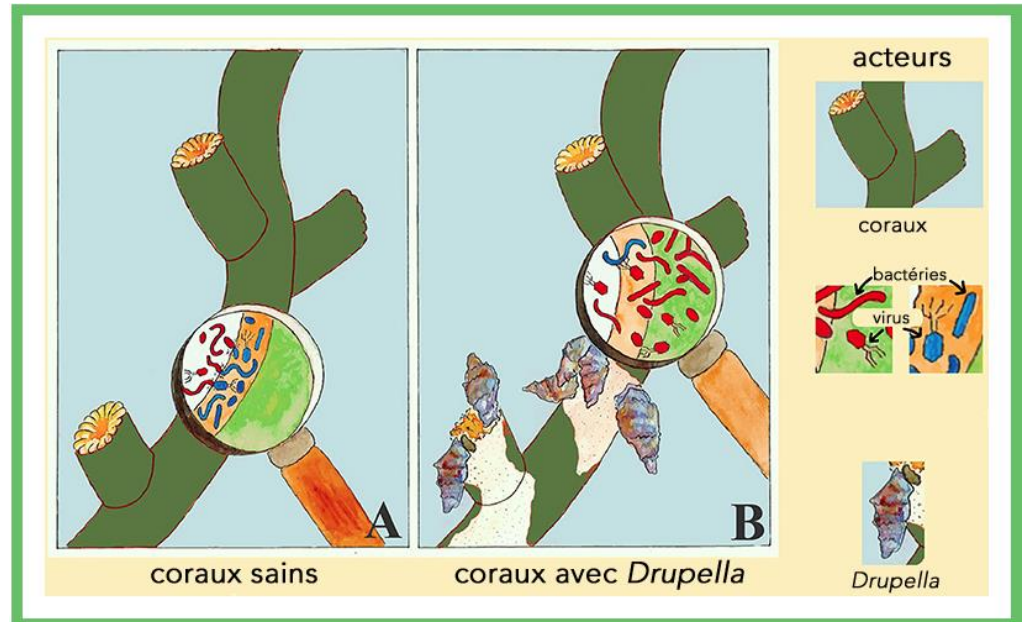


Figure 3. Comparaison des coraux avec et sans l'escargot *Drupella*. (A) La loupe montre que les coraux sains hébergent des microbes utiles (bleus) dans leur mucus, qui les protègent des microbes nuisibles (rouges). (B) Lorsque la couche de mucus est attaquée par *Drupella*, les microbes nuisibles se multiplient, ce qui entraîne des maladies coralliennes (©Jean Péronnin). Remarque : les bactéries et les virus ne sont pas dessinés à l'échelle ; les virus sont plus de dix fois plus petits que les bactéries.

Pourquoi des microbes dangereux se développent-ils sur les coraux attaqués par les escargots ? En quoi les escargots sont-ils responsables de ce phénomène ? Nous pensons qu'en mangeant les coraux les escargots endommagent gravement leur couche de mucus et affectent les microbes utiles qui y vivent (en appauvrissant le mucus en nourriture par exemple). Si ces microbes utiles ne sont plus assez nombreux pour protéger les coraux, des microbes nuisibles peuvent alors se multiplier et rendre les coraux malades.

LA MORALE DE L'HISTOIRE

L'escargot mangeur-de-corail *Drupella* est naturellement présent dans les mers d'Asie du Sud-Est et sa population a énormément augmenté ces dernières années. Cette augmentation pourrait s'expliquer par la surpêche. Moins il y a de poissons et moins ils mangent de **larves** de *Drupella* qui peuvent donc se multiplier en plus grand nombre et atteindre l'âge adulte. Les *Drupella* adultes ont une coquille dure et ne sont absolument pas comestibles, ce

LARVE. Premier stade de développement de certains organismes, après l'éclosion de l'œuf.

qui leur permet de se développer et de se multiplier en toute tranquillité. Ainsi, la surpêche a des conséquences sur la santé des coraux ! En conclusion, nous avons constaté que les escargots, en broutant la surface des coraux pour s'en nourrir, fragilisent les coraux, favorisent la multiplication de microbes qui leur sont nuisibles et accélèrent leur déclin.

Notre étude originale [1] montre l'importance du mucus des coraux et des bactéries utiles qui y vivent et font partie de leur système immunitaire. Les organismes microscopiques sont étudiés par de plus en plus de chercheurs, car on les trouve chez tous les animaux marins : dans leurs intestins, sur leur peau et même dans leur cerveau ! Ces microbes sont à plus d'un titre bénéfiques pour leurs hôtes. C'est également le cas chez les humains. Les microbes qui vivent sur et dans notre corps jouent un rôle important pour notre santé, dans la digestion d'aliments et influencent même notre comportement. Ces microbes semblent agir comme une communauté bien organisée. Cependant, les microbes utiles sont si nombreux et divers que nous ne connaissons pas encore tous les rôles qu'ils jouent. Nous devons donc poursuivre nos recherches sur le rôle des microbes chez différentes espèces, car elles pourraient révéler encore bien des secrets susceptibles de nous aider à protéger la santé de tous les organismes, des coraux fragiles ou des humains.

ARTICLE SOURCE

Bettarel, Y., Halary, S., Auguet, J. C., Mai, C. T., Bui, V. N., Bouvier, T., et al. 2018. Corallivory and the microbial debacle in two branching scleratinians. *ISME J.* 12:1109–26. doi: 10.1038/s41396-017-0033-5

VERSION FRANÇAISE

Cet article d'accès libre est une traduction avec des modifications d'un article publié par *Frontiers for Young Minds* (doi : 10.3389/frym.2021.573856 ; Bettarel Y, Boudin E, Halary S, et al (2021) The Hungry Snail, the Fragile Coral, and the Friendly Microbe. *Front. For Young Minds* 9:573856).

TRADUCTION : Catherine Braun-Breton, Association Jeunes Francophones et la Science, et Yvan Bettarel, Université de Montpellier

ÉDITION : Sylvie Hurtrez, Association Jeunes Francophones et la Science

MENTOR SCIENTIFIQUE : Ula Hibner, Association Jeunes Francophones et la Science

JEUNE EXAMINATEUR :

CHARLIE, 14 ANS.

Charlie est franco-américaine et vit en Virginie aux États-Unis. Elle adore la danse, les sciences, le piano et le violoncelle.

ARTICLE ORIGINAL (VERSION ANGLAISE)

SOU MIS le 18 juin 2020 et **ACCEPTÉ** le 2 juillet 2021

PUBLIÉ EN LIGNE le 4 août 2021.

ÉDITEUR : Nathan M. Good, Université de Californie, Berkeley, États-Unis

CITATION : Bettarel Y, Boudin E, Halary S, Auguet J, Péronnin J, Bouvier T, Rochelle-Newall E, Bui VN et Desnues C (2021) The Hungry Snail, the Fragile Coral, and the Friendly Microbe. *Front. For Young Minds* 9:573856. doi : 10.3389/frym.2021.573856

DÉCLARATION DE CONFLIT D'INTÉRÊT : 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 conflit d'intérêt potentiel.

DROITS D'AUTEURS

Copyright 2021 Bettarel, Boudin, Halary, Auguet, Péronnin, Bouvier, Rochelle-Newall, Bui et Desnues.

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

ADITRI, 12 ANS

Je m'appelle Aditri, et je suis en 6^e année. J'aime la lecture et l'art. L'art est probablement ce que je préfère comme activité pendant mon temps libre. Je joue aussi du piano depuis 4 ou 5 ans. Quand je serai grande, je veux être astrophysicienne !

ANSHUL, 9 ANS

Bonjour ! Je m'appelle Anshul et je suis un élève de quatrième année à North Wales, Pennsylvanie, proche de Philadelphie. Je suis très intéressé par la biologie et l'entomologie. Je suis un membre actif du programme CTY de John Hopkins et mon passe temps favori est la lecture.

LUVENA, 11 ANS

Salut, je m'appelle Luvena ! J'aime la musique, le sport et la nourriture. Mes matières préférées à l'école sont les mathématiques et les langues. Pendant mon temps libre, j'aime jouer du piano et lire des livres avec ma sœur. Quand je serai grande, j'aimerais être neurochirurgienne.

PRANATEE, 12 ANS

Bonjour ! J'adore faire de la pâtisserie, surtout des tartes et des gâteaux. À l'école, mes activités préférées sont les sciences, le

déjeuner et la récréation. J'aime passer du temps à l'extérieur et faire des randonnées. J'aime aussi aller à la plage et je m'intéresse à la photographie. Regarder mes émissions de télévision préférées, peindre, écouter de la musique, chanter et passer du temps avec mes amis sont mes activités préférées pendant mon temps libre. Dans l'avenir, j'aimerais être soit une scientifique, soit une auteure-compositrice-interprète et actrice.

AUTEURS

YVAN BETTAREL

Yvan Bettarel est microbiologiste marin à l'Institut national de recherche pour le développement durable (IRD). Il a vécu et travaillé au Vietnam et au Sénégal pour étudier le rôle que jouent les virus et les bactéries tropicales dans la santé des océans. [*yvan.bettarel@ird.fr](mailto:yvan.bettarel@ird.fr)

ELYSE BOUDIN

Elyse Boudin a obtenu son diplôme d'ingénieur en écologie à l'université de Montpellier en 2019. Aujourd'hui, elle s'implique dans plusieurs projets environnementaux et éducatifs dans le sud de la France. Ces projets combinent la recherche en écologie marine et terrestre, la photographie et la création d'outils d'éducation à l'environnement.

SÉBASTIEN HALARY

Sébastien Halary est microbiologiste au Muséum national d'Histoire naturelle de Paris. Il étudie les bactéries et les virus en décryptant leur ADN, afin de comprendre comment tous ces microbes cohabitent dans l'environnement.

JEAN-CHRISTOPHE AUGUET

Jean-Christophe Auguet (Chercheur CNRS) est un écologiste microbien passionné. Ses recherches actuelles portent sur les microbes associés aux animaux des récifs. Parmi ces populations microbiennes, il s'intéresse particulièrement aux bactéries potentiellement pathogènes qu'il étudie à l'aide d'outils moléculaires et du séquençage de nouvelle génération.

JEAN PÉRONNIN

Jean Péronnin est professeur d'électrotechnique dans un lycée professionnel d'Issoire (France). Il s'intéresse particulièrement à la santé des rivières locales et à leurs populations de truites. Plus généralement, il est passionné par la nature qui est une grande source d'inspiration pour ses illustrations et peintures.

THIERRY BOUVIER

Thierry Bouvier est un écologiste microbien marin au laboratoire MARBEC situé à Montpellier, en France. Il a commencé sa carrière en étudiant les bactéries et virus benthiques et pélagiques des océans polaires, tempérés et tropicaux. Actuellement, ses recherches sont entièrement consacrées aux microbes associés aux animaux marins afin de comprendre qui ils sont, leur rôle et leur avenir.

EMMA ROCHELLE-NEWALL

Emma Rochelle-Newall est écologiste microbienne aquatique à l'Institut national de recherche pour le développement durable (IRD). Elle étudie comment les impacts anthropiques influencent la diversité et l'activité microbienne dans les écosystèmes tempérés et tropicaux. Elle s'intéresse également à la façon dont les agents pathogènes se disséminent et prolifèrent dans les écosystèmes aquatiques, notamment dans les pays en développement.

VAN NGOC BUI

Van Ngoc Bui est pharmacien biologiste à l'Institut de biotechnologie de Hanoi (Vietnam). Ses recherches actuelles portent sur la métagénomique et la diversité des communautés microbiennes associées aux coraux.

CHRISTELLE DESNUES

Christelle Desnues (Directrice de recherche CNRS) est passionnée par les virus, leur écologie et la santé humaine. Elle étudie la diversité, la dynamique et l'évolution des virus aux interfaces homme-animal-écosystème. Forte de sa double expérience de recherche en sciences cliniques et environnementales, elle fait activement le pont entre médecins et écologistes, s'inscrivant pleinement dans l'approche « One Health - One Medicine », pour mieux comprendre les interactions entre santé environnementale, animale et humaine.