



S. JACQUET  
INRA G. LONGITUDE 1811  
Responsable de  
rubrique



D. DEMORY



M. GOBERT

Encore mal connus des scientifiques et encore plus du grand public, les virus marins sont pourtant les entités biologiques les plus abondantes de notre planète. On sait aujourd'hui qu'ils ont aussi un rôle prépondérant dans l'état et le devenir des populations planctoniques. En interagissant avec la base de la chaîne alimentaire marine, c'est-à-dire avec le phytoplancton ou les bactéries, c'est finalement tout l'écosystème marin qu'ils régulent. Aujourd'hui on pense même que ces virus peuvent impacter le climat. Éclairage sur ce monde invisible si important par David Demory, Margaux Gobert & Stéphan Jacquet.

## LES VIRUS MARINS SONT-ILS LES RÉGULATEURS DE L'ÉCOSYSTÈME ET DU CLIMAT OCÉANIQUE ?

### LA LYSÉ VIRALE : UN FACTEUR DE MORTALITÉ MICROBIENNE TRÈS IMPORTANT

La plongée est souvent décrite comme l'activité permettant à *Homo sapiens* de découvrir et d'admirer la diversité des écosystèmes marins. Pourtant, la majorité de la vie océanique n'est pas visible à l'œil nu. En effet, elle est dominée par des organismes microscopiques. Cette communauté microbienne (on parle aussi de microorganismes), bien qu'invisible aux yeux des plongeurs, a pourtant un rôle essentiel dans le fonctionnement des océans et du climat. Elle influence considérablement les cycles de tous les éléments (comme le carbone, l'azote, le phosphore, etc.). Une partie de cette population microbienne est en effet constituée d'organismes photosynthétiques, le phytoplancton, capable d'absorber le CO<sub>2</sub>, puissant gaz à effet de serre et une cause majeure du réchauffement climatique. Le phytoplancton est donc un acteur clef de la régulation du climat en participant à la « pompe biologique », c'est-à-dire à l'absorption du CO<sub>2</sub> par l'océan et le transfert de ce carbone vers les fonds océaniques. On comprend alors l'intérêt d'étudier ces micro-organismes et de comprendre ce qui impacte leur croissance ou leur mortalité.

Au cours des trois dernières décennies, grâce au perfectionnement des techniques d'observation et d'analyse du monde microscopique, les scientifiques ont mis en évidence l'importance de l'action des virus marins (mais aussi d'eau douce) au sein de la communauté microbienne. Tout d'abord, leur incroyable abondance, qui est en moyenne de 10 milliards de particules virales par litre d'eau de mer (soit à l'échelle de l'océan mondial l'équivalent de 10<sup>30</sup> particules) ! Ils représentent environ 90 % de l'ensemble des particules organiques et leur contenu en carbone équivaldrait à celui de plusieurs centaines de milliers de baleines bleues ! Mis bout à bout à la manière d'un collier de perles, le « bijou » ainsi formé par l'ensemble des virus présents au sein des mers et océans, et en considérant une taille moyenne de 50 à 100 nanomètres par particule, aurait une longueur de 10 millions d'années-lumière (100 fois le diamètre de notre galaxie). Pour rappel, une année-lumière c'est presque 10 milliards de kilomètres ! Que dire aussi de leur incroyable diversité morphologique (Figure 1) et/ou génétique avec, dans certains cas, plusieurs milliers de virus différents présents dans quelques litres d'eau seulement.

Les virus sont vraiment des entités biologiques singulières : ils doivent toujours infecter un ou plusieurs hôtes, une cellule, dont ils vont exploiter la machinerie pour se multiplier et reproduire leur matériel génétique. Ce processus de colonisation s'achève souvent par la mort de la cellule hôte, et la libération dans le milieu environnant de débris divers, de matière organique sous forme de petites particules ou sous forme dissoute, pouvant être réutilisée par d'autres micro-organismes. C'est ce qu'on appelle la lyse virale. Après la mort de leur hôte, le cycle recommence, de nouveaux virus sont libérés, prêts à infecter d'autres cellules. On comprend donc que la lyse virale est un facteur de mortalité du plancton très important et intervient dans la structure et diversification des communautés, si bien que les virus sont considérés comme des acteurs majeurs du fonctionnement des écosystèmes océaniques dans leur ensemble.

### L'IMPACT DES VIRUS MARINS SUR LE CLIMAT

L'état du climat, notamment la température de l'air, est directement influencé par la quantité de CO<sub>2</sub> présente dans l'atmosphère. On sait en effet que le CO<sub>2</sub> atmosphérique bloque les rayons solaires réfléchis à la surface de la Terre, au lieu d'être évacués

vers l'espace, ces radiations sont donc retenues et elles réchauffent la surface du globe. Ce CO<sub>2</sub> atmosphérique, en contact avec la surface des océans, se dissout facilement dans l'eau. Les micro-organismes phytoplanctoniques l'assimilent et le transforment en biomasse (matière vivante), comme le fait n'importe quelle espèce végétale terrestre. Le phytoplancton est ensuite consommé par le zooplancton - constitué principalement par de petits crustacés et invertébrés marins - lui-même mangé par des invertébrés de plus grosse taille, des larves et des petits poissons. La chaîne alimentaire continue et s'étend jusqu'aux prédateurs supérieurs, les plus gros poissons. À chaque étape de cette chaîne, une part du carbone organique n'est pas assimilée par les organismes, une certaine proportion est perdue sous forme de matière fécale ou d'agrégats. Cette matière carbonée coule au fond des océans et est stockée durablement dans les sédiments : on appelle ce processus la pompe biologique. Le résultat est donc le prélèvement du CO<sub>2</sub> de l'atmosphère et son transfert dans l'océan profond, ce qui entraîne une diminution de l'effet de serre.

Or les virus, on l'a vu plus haut, sont responsables d'une part importante de la mortalité du phytoplancton, qui est à la base de ce processus de stockage de carbone. Ils ont donc, par conséquent, une action potentielle sur l'état du climat en réorientant le flux de matière organique vers les échelons trophiques microbiens, l'empêchant d'atteindre les échelons supérieurs et d'être exportée (Figure 2). Les scientifiques estiment que les lyses virales affectent l'efficacité de la pompe biologique. Le transport du carbone vers les échelons trophiques supérieurs diminuerait de 7 à 37 % à cause de ce phénomène.

Ceci dit, le problème est plus complexe qu'il n'y paraît car les infections virales n'ont pas toutes la même dynamique. Les virus sont dépendants du métabolisme de leur cellule hôte, lui-même dépendant des conditions du milieu : principalement la température, les nutriments, la lumière et le pH.

Ces paramètres environnementaux, qui agissent également sur le métabolisme du virus lui-même, conditionnent l'efficacité des infections virales, donc le contrôle des virus sur le reste de la communauté microbienne et leur rôle dans l'intensité de l'export du carbone dans les couches profondes de l'océan.

### DANS UN OCÉAN PLUS CHAUD, QUE DEVIENNENT LES VIRUS ?

Souvent moins bien considéré que les écosystèmes terrestres, l'océan subit pourtant lui aussi de plein fouet les conséquences du changement climatique. D'ici à la fin du siècle, la température océanique moyenne pourrait augmenter de plusieurs degrés (augmentation moyenne de 3 à 4 °C dans le pire des scénarios), bouleversant en profondeur le fonctionnement des écosystèmes marins. Pour les scientifiques, ce contexte de réchauffement global pose beaucoup de questions. Si l'océan se réchauffe, sera-t-il une pompe à carbone plus ou moins efficace ? Et le rôle des virus au sein de la communauté microbienne sera-t-il affecté ?

Les virus sont majoritairement composés de protéines et d'acides nucléiques, des molécules qui se dénaturent et perdent leurs fonctions en cas de trop forte température. Le mécanisme d'infection virale pourrait alors être complètement perturbé et déréglé par une augmentation de température. Réemment, nous avons démontré le rôle majeur de la température dans la régulation de l'infection virale chez le phytoplancton, en testant le processus d'infection virale dans différentes conditions de température. Nous avons pu observer que les réponses étaient distinctes selon les types de traitements : à de faibles températures, la lyse virale était relativement peu efficace, ralentie, alors que pour des températures moyennes, elle se révélait très efficace. Dans le cas de fortes températures, les dynamiques observées étaient plus complexes, la lyse semblant interrompue, la mort cellulaire induite par les virus est réduite. À en croire nos résultats, avec toutes les précautions à prendre dans le cas d'une étude isolée réalisée avec une seule espèce phytoplanctonique (prise comme modèle), une hypothèse probable serait que l'augmentation de la température des eaux océaniques diminuerait la mortalité induite par les virus sur la communauté phytoplanctonique. Le phytoplancton, plus nombreux, absorberait

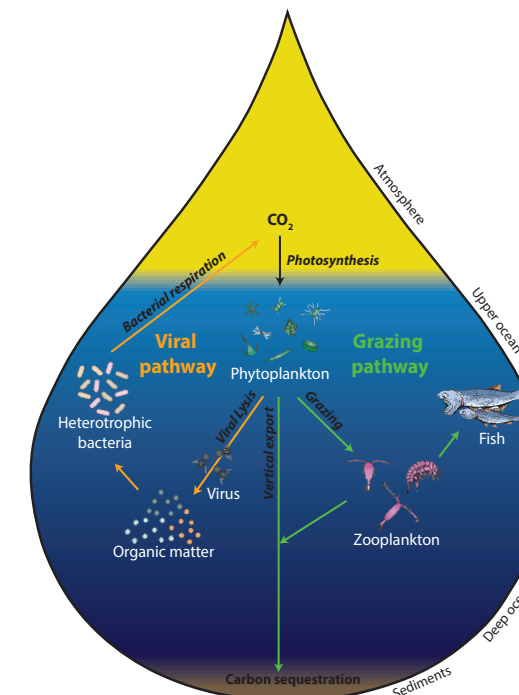


Figure 2 : Schéma expliquant le rôle des virus dans le fonctionnement de la pompe biologique. Le phytoplancton absorbe le CO<sub>2</sub> et le transforme en masse de carbone biologique. Ce carbone est soit séquestré au fond des océans soit transféré aux échelons trophiques supérieurs, c'est la boucle classique. Les virus, via la lyse virale, transfèrent le carbone phytoplanctonique vers les échelons trophiques microbiens, modifiant ainsi le fonctionnement classique de la pompe biologique.

alors plus de CO<sub>2</sub> atmosphérique, et l'océan deviendrait alors un puits de carbone plus efficace.

Cependant, les inconnues quant au rôle des virus dans la pompe biologique sont encore trop nombreuses pour valider cette hypothèse. C'est pourquoi les scientifiques travaillent notamment à mieux comprendre la complexité de la communauté microbienne et les nombreuses interactions entre ses membres, dans le but d'appréhender et de prévoir au mieux l'impact du changement global. ■

### Article qui a inspiré cet article

Demory David, Arsenieff Laure, Simon Nathalie, Six Christophe, Rigaut-Jalabert Fabienne, Dominique Marie, Ge Pei, Bigeard Estelle, Jacquet Stéphan, Sciandra Antoine, Bernard Olivier, Rabouille Sophie, Baudoux Anne-Claire. (2017). Temperature is a key factor in Micromonas-virus interactions. The ISME journal.

### APPEL À CONTRIBUTION

Vous venez de publier un article scientifique et vous voulez nous le faire connaître. Contactez notre collaborateur : [stephan.jacquet@inra.fr](mailto:stephan.jacquet@inra.fr)

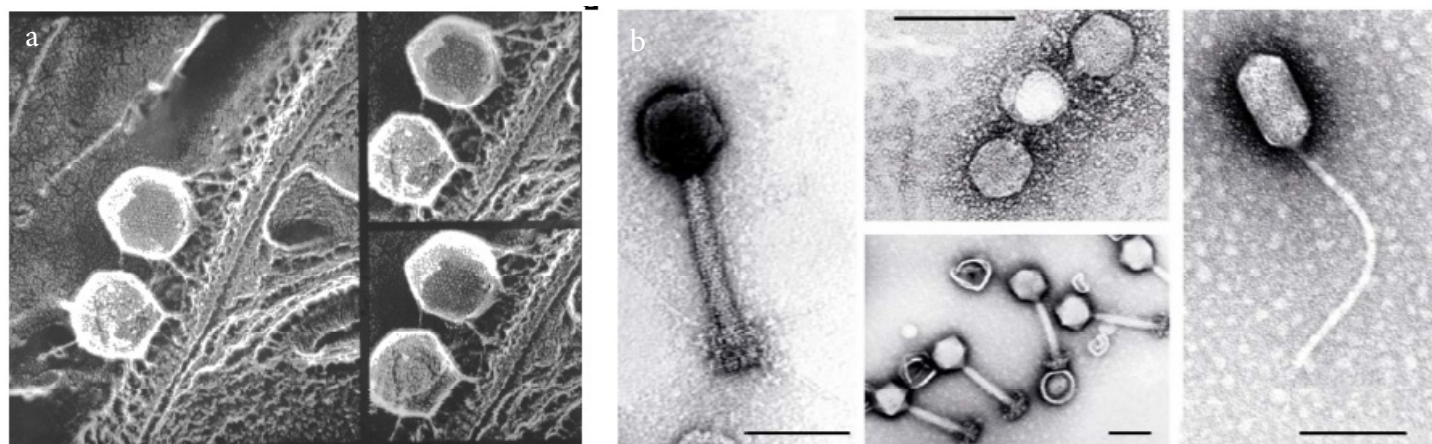


Figure 1 : Images en microscopie électronique à transmission. Exemples de virus infectant le phytoplancton. a) Virus infectant *Prochlorococcus* (l'organisme photosynthétique le plus abondant au sein des océans à la base de la chaîne trophique) et b) Virus infectant *Chlorella* (un genre ubiquiste que l'on trouve partout).