

Virologie



Le puissant arsenal de guerre des bactériophages

Char d'assaut, corruption, agents dormants... Les stratégies des virus de bactéries sont bien plus complexes et variées qu'on ne le soupçonnait.

L'ingéniosité des bactériophages, des virus qui n'infectent que les bactéries, n'a pas fini de surprendre. Trois stratégies mises au jour révèlent à quel point ces entités s'apparentent à des machines de guerre bien rodées. La première concerne leur mode de reproduction. Comme tous les virus, les phages se multiplient en détournant la machinerie cellulaire de leurs hôtes. Mais la technique que Vorrapon Chaikeeratisak, de l'université de Californie à San Diego, et ses collègues ont découverte chez un phage des bactéries *Pseudomonas* tient plus du char d'assaut que d'un simple parasitage. En observant l'invasion en détail, les biologistes ont montré que lors de sa réplication, le phage construit un compartiment qui ressemble à un noyau de cellule eucaryote.

Comme dans ces cellules, le compartiment renferme de l'ADN (l'ADN viral) ainsi que les protéines impliquées dans sa réplication et sa transduction en ARN. Les fragments d'ARN sortent alors de la structure et sont traduits en protéines qui serviront à fabriquer l'armature du virus hors du compartiment ou iront renforcer les troupes à l'intérieur. On connaissait des virus

produisant de tels compartiments dans des cellules eucaryotes, mais rien de tel n'avait été décrit chez les bactéries.

Une fois prête, la nouvelle armée de phages détruit la bactérie et se déploie. C'est là qu'intervient la deuxième stratégie. Elhanan Tzipilevich, de l'université hébraïque de Jérusalem, et ses collègues ont mis en évidence un mécanisme par lequel des phages infectent des bactéries qui leur résistaient. En mettant en présence des bactéries *Bacillus subtilis* sensibles à un phage et d'autres résistantes, ils ont montré que lorsqu'une armée de phages s'échappe d'une bactérie sensible, la membrane bactérienne détruite forme de petites vésicules. Or la bactérie doit sa sensibilité à un récepteur sur sa membrane, lequel se retrouve à la surface des vésicules. Lorsque les vésicules rencontrent une bactérie, elles fusionnent avec celle-ci, lui apportant le récepteur qui rend sensible au phage...

La troisième stratégie, elle, optimise la production des armées. Zohar Erez, de l'institut Weizmann, en Israël, et ses collègues ont montré en étudiant plus d'une centaine de phages que ceux-ci communiquent: lorsqu'un phage

infecte une bactérie, il produit un peptide ressemblant à ceux que sécrètent certaines bactéries pour communiquer. Chez les bactéries, la concentration en peptide renseigne chaque individu sur la densité de population de ses proches voisins. Le peptide viral renseigne les phages sur la densité de population de leurs congénères en utilisant les mêmes mécanismes que les peptides bactériens. Plus la concentration en peptide viral est élevée dans une bactérie (signe qu'il y a beaucoup de phages aux alentours), plus le phage qui l'attaque a tendance non pas à développer une armée, mais à insérer son ADN dans le génome bactérien, tel un agent dormant.

Au fil de l'évolution, les bactéries ont développé des défenses contre les inventions de leurs prédateurs. En retour, la sélection naturelle a favorisé chez les phages des stratégies qui les contournent. Dans cette course à la survie, une bactérie infectée et son virus tenteront peut-être un jour de cohabiter, produisant une minuscule cellule à noyau pérenne... Seront-ils les premiers à avoir essayé?

M.-N. C.

Science, vol. 355, pp. 194-197, 2017;
Cell, vol. 168, pp. 186-199, 2017;
Nature, vol. 541, pp. 488-493, 2017

Les bactériophages (ou phages), les virus des bactéries, attaquent leurs hôtes en injectant leur ADN à travers leur membrane. Au fil de l'évolution, ils ont développé de multiples mécanismes qui leur permettent de parer les défenses des bactéries, et dont trois ont été découverts récemment.

Climatologie

Les stocks de carbone au fil du Néolithique



© Christian Anet

Les tourbières (ci-dessus, une tourbière dans les Vosges), nombreuses dans l'hémisphère Nord, sont des pièges à matière organique. Elles constituent l'un des principaux puits de carbone naturels.

L'avènement de l'agriculture au Néolithique a-t-il influé sur le climat? Pas avant 1850, selon Benjamin Stocker, de l'École polytechnique fédérale de Zurich, et ses collègues. Ces chercheurs ont reconstitué le stock de carbone organique accumulé dans l'ensemble des terres émergées et dans les tourbières depuis le début de l'Holocène (les derniers 11 000 ans). Les tourbières constituant l'un des plus grands puits de carbone naturels, une augmentation de leur stock de carbone plus rapide que celle du stock total serait forcément due à une augmentation des émissions atmosphériques de dioxyde de carbone (CO₂).

Les chercheurs ont établi les courbes d'évolution de ces stocks au cours de l'Holocène à

l'aide d'une simulation du cycle du carbone dans l'écosystème et en exploitant les enregistrements climatiques naturels, puis ils les ont comparées à la courbe donnant le taux de CO₂ atmosphérique à travers l'Holocène. Qu'en ressort-il?

Après une rapide augmentation au sortir du Paléolithique, le taux de CO₂ atmosphérique diminue, passant par un minimum vers -7000 avant d'augmenter lentement jusqu'en 1850. Quant au stock de carbone accumulé dans les tourbières, il augmente de plus en plus vite tout au long de l'Holocène, alors qu'après -5000 le stock de carbone accumulé dans l'ensemble des écosystèmes terrestres n'augmente que lentement. Ainsi, après -5000 (âge du Bronze), on doit invoquer une forte émission de carbone dans l'atmosphère

pour expliquer l'augmentation du stockage dans les tourbières. L'émission océanique joue un rôle, mais ne suffit pas.

La différence s'explique-t-elle par l'activité humaine? En partie seulement: quel que soit le modèle de développement de l'agriculture employé, les chercheurs trouvent que les émissions d'origine agricole sont toujours très inférieures au total des émissions de CO₂ à travers tout l'Holocène. Une source manque et reste à trouver. Quoi qu'il en soit, une chose est claire: vers 1850, le taux de CO₂ atmosphérique explose, passant en 150 ans de 200 à 400 parties par millions....

F. S.

B. D. Stocker et al., PNAS, en ligne le 30 janvier 2017

Palais DÉCOUVERTE

les conférences

30 80

Entrée libre dans la limite des places disponibles

au Palais de la découverte

**Les mercredis à 19h,
du 1^{er} mars au 31 mai**

Cycle de 9 conférences

La recherche à l'horizon 2037

Depuis 1937, le Palais de la découverte se fait l'écho de la recherche scientifique. À l'occasion de ses 80 ans, il invite des chercheurs à se projeter en 2037. Avec notamment : Ph. Bihouix, J. Bobroff, M.-Ch. Schermann, E. Klein, ...

Mercredi 8 mars à 18h30

Journée de 3 conférences

1937-2037 : un siècle d'émergences technologiques

L'Académie des technologies célèbre les 80 ans du Palais de la découverte en évoquant un siècle d'émergences technologiques répondant à trois grands besoins de l'humanité : se soigner, se nourrir et transporter.

En partenariat avec

programme complet sur palais-decouverte.fr

Avec le soutien de

ACADÉMIE DES TECHNOLOGIES

SCIENCE

plus