

auquel ils appartiennent, à l'instar de certaines cyanobactéries filamenteuses composées de cellules capables de produire de l'énergie et d'autres de se reproduire.

Combien de formes sélectionnables, et non pas combien de cellules bactériennes, les microbiomes abritent-ils? Cette interrogation, inspirée notamment des travaux du philosophe de la biologie Frédéric Bouchard, n'est pas qu'un exercice de métaphysique. L'univers des microbes, qu'on imagine volontiers peuplé de créatures unicellulaires, à l'image de l'émblématique d'*Escherichia coli*, est peut-être en réalité un monde fondamentalement multicellulaire, structuré en d'innombrables collectifs émergents et en sociétés microbiennes, dont l'évolution est par définition mal modélisée par toute théorie qui postule que la sélection naturelle agit au niveau des seules cellules.

DES MICROBES PLURICELLULAIRES?

La question des individus évolutifs cachés (biofilms solidaires, consortiums multispécifiques réunis autour d'un cycle métabolique, communautés unies par la division du travail...) dans les microbiomes est bel et bien du ressort de la science. Elle est ouverte et testable, par exemple en analysant la robustesse et la résilience des interactions microbiennes dans la nature. Certaines associations microbiennes résistent-elles bien au changement? D'autres se répètent-elles malgré les perturbations environnementales? Et du fait de cette robustesse et de cette résilience, d'autres encore augmentent-elles en fréquence dans les microbiomes, comme si elles étaient sélectionnées?

Cette capacité à persister et à se recréer, à former des liens de plus en plus fréquents, fournit de nouvelles mesures pratiques de la valeur sélective. Ici l'attention est portée sur la survie des plus aptes: persister mieux, et pas seulement se reproduire plus, signifie être adapté. Pour débusquer ces curieux êtres, comme des associations microbiennes pérennes et des microbes pluricellulaires, l'analyse des réseaux d'interactions entre microbes apparaît depuis peu comme un outil de choix.

Ainsi, les réseaux de cooccurrence où les microbes retrouvés ensemble dans divers environnements sont directement connectés forment des objets mathématiques encore sous-exploités. Dans ces réseaux, il est possible d'identifier les associations qui tirent leurs épingles du jeu, les liens robustes et les liens résilients entre microbes d'espèces différentes. Ils permettraient par exemple de savoir, dans nos intestins ou dans les océans, quels groupements d'espèces bactériennes se renforcent au cours du temps.

Initialement centrées sur l'étude de l'origine et de l'évolution des espèces, pratiquement

concentrées sur la mesure des capacités de reproduction des membres d'une population, la théorie de l'évolution et ses méthodes classiques pourraient alors fortement évoluer pour intégrer de plein droit les études de l'origine et de l'évolution des symbioses, et la mesure des capacités de persistance de communautés. Dans ce contexte, les études du microbiome ont un rôle majeur à jouer en révélant non seulement de nouveaux acteurs de l'évolution: des microbes et des virus de l'environnement jamais cultivés en laboratoire, mais aussi de nouveaux individus et de nouvelles relations, par exemple des symbioses cachées, des sociétés microbiennes et des transitions évolutives masquées.

ET L'HUMAIN DANS TOUT ÇA?

Ces réflexions sur le devenir évolutif des interactions microbiennes pourraient bien concerner jusqu'à notre espèce! Les études des microbiomes révèlent que nous sommes tous pris dans les mailles d'un réseau d'interactions, connectés notamment à de très nombreux microbes et virus, ainsi qu'à notre environnement. Selon l'évolutionniste Ford Doolittle, nous nous trouvons par conséquent dans une position unique: conscients d'appartenir à un réseau d'interactions qui conditionne l'avenir de notre espèce.

Comme l'atteste la pandémie de Covid-19, nos interactions avec les virus, par exemple, ne sont manifestement pas nécessairement stables ni confortables pour la survie de notre espèce. Là où certains politiques soulignent l'importance d'apprendre à vivre au quotidien dans un monde où frappent et frapperont les pandémies, Ford Doolittle, lui, souligne que sur le long terme, il pourrait être encore plus pertinent d'apprendre à évoluer avec les microbes.

Il est également essentiel de comprendre quelles propriétés architecturales des réseaux qui nous englobent favorisent leur évolution et leur stabilité. Les travaux sur les microbiomes contiennent en la matière des informations indispensables pour penser notre avenir commun, pas seulement sous forme antagoniste. En étudiant les microbiomes, on trouvera peut-être des pistes pour développer des interactions robustes ou résilientes avec certains microbes, de façon à développer des symbioses hommes-microbes adaptées. On pourrait même, comme nous y invite Ford Doolittle, chercher à réaliser une nouvelle transition évolutive, quitte à sacrifier certains de nos intérêts égoïstement humains à la stabilité et à l'évolution d'un collectif biologique et environnemental plus large, plutôt que d'essayer de régner seuls dans une nature surpeuplée de microbes et de virus parfois hostiles.

L'avenir d'*Homo sapiens* passerait alors par son inscription comme composant d'un être multispécifique complexe, largement microbien, conscient d'évoluer et soucieux de sa persistance. ■

BIBLIOGRAPHIE

W. DOOLITTLE, *Could this pandemic usher in evolution's next major transition?*, *Current Biology*, vol. 30, pp. R841-R870, 2020.