

La révolution du microbiote végétal

Les découvertes qui viennent révolutionner notre façon de comprendre le monde sont rares en science. C'est néanmoins ce que les recherches sur le microbiote nous forcent à faire, en remettant en question le concept même d'individu.

PAR SIMON JOLY ET ÉTIENNE YERGEAU

☐ Ce que l'on a depuis toujours considéré comme un organisme (une plante, une personne, un animal) semble aujourd'hui incomplet : chaque organisme porte avec lui de plusieurs millions à plusieurs milliards de microbes, que ce soit à l'intérieur de lui ou à sa surface. Ce « microbiote », soit l'ensemble des microorganismes (bactéries, virus, protistes, champignons) associé à un

environnement ou à un organisme, chamboule notre concept de l'individu.

Pourquoi? Parce que le microbiote ne se contente pas d'utiliser notre corps ou une plante comme substrat : il communique et échange avec lui ou elle! Et de nombreuses recherches montrent que ces interactions jouent un rôle drôlement important sur le comportement des individus.

Par exemple, des scientifiques américains ont montré que la constitution du microbiote affecte la date de floraison de l'arabette de Drummond (*Boechera stricta*), une plante de la famille de la moutarde. Les plants qui poussent dans différents sols développent des microbiotes racinaires différents. Selon leur constitution, ces microbiotes peuvent devancer ou retarder la floraison.

L'arabette de Drummond fleurit plus ou moins tôt selon les microorganismes associés à ses racines.

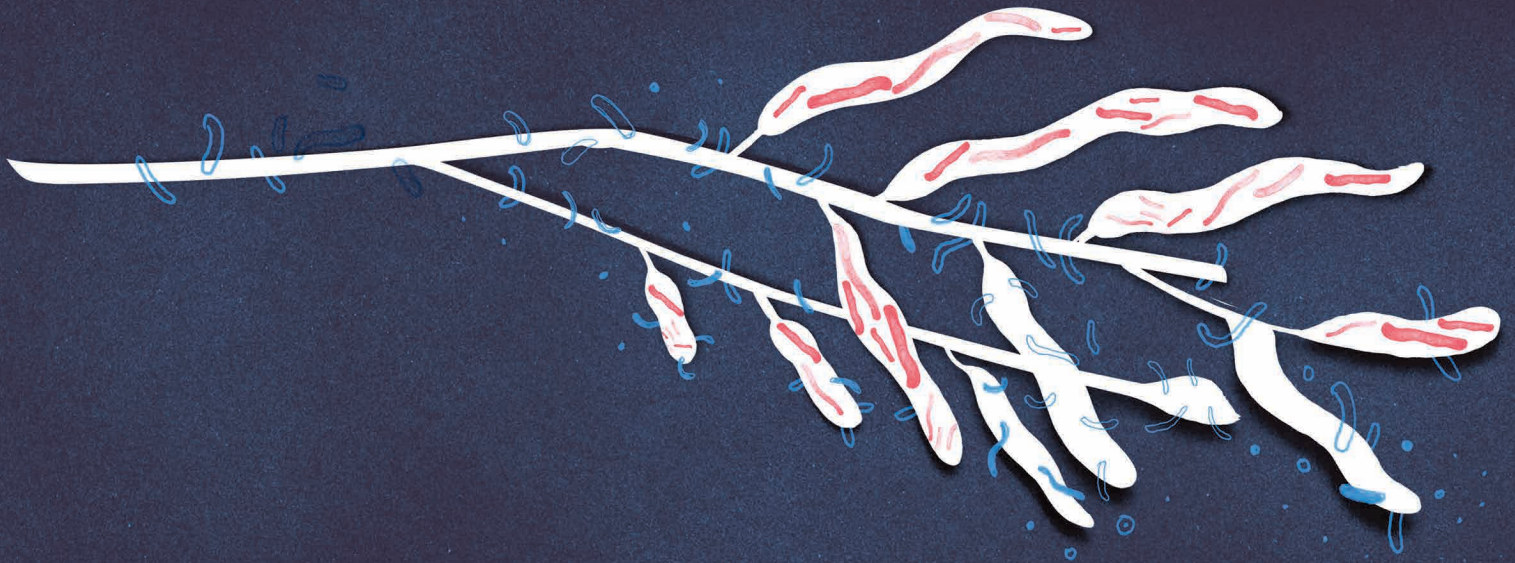
L'HOLOBIONTE, NOUVEAU CONCEPT

Afin de refléter ces nouvelles découvertes dans le domaine de la biologie, le concept de l'holobionte a été proposé. L'holobionte réfère à un organisme avec tous les microorganismes qui lui sont associés (certains parlent aussi de métaorganismes). Par exemple, un holobionte peut être un chêne rouge et tous les microbes qui se trouvent à l'intérieur et à la surface de ses feuilles, de ses tiges et de ses racines. Ce nouveau concept gagne rapidement en popularité au sein de la communauté scientifique. Et il change déjà notre façon d'étudier les plantes.

Entre autres choses, le concept d'holobionte bouleverse notre compréhension de la sélection naturelle telle que proposée par Darwin. Qu'est-ce que nous disait Darwin? Il disait que les individus luttent pour leur survie et que seuls les plus aptes



PHOTO : © PATRICK ALEXANDER



subsistent. Ces derniers transmettent alors leurs adaptations à leurs descendants par leurs gènes, de façon héréditaire. C'est là que les récentes découvertes bouleversent tout, puisque les microbes du microbiote ne sont pas tous transmis de façon héréditaire d'une génération à l'autre.

L'assemblage du microbiote est un sujet complexe. Si certains microbes sont hérités des parents, d'autres peuvent être acquis de l'environnement au cours de la vie d'un individu et influencer sa performance. On n'a qu'à penser à l'arabette de Drummond, mentionnée plus tôt... Si les individus fleurissant plus tôt étaient favorisés, la sélection naturelle agirait non pas sur les gènes de la plante, mais sur son microbiote. Lorsque les microbes conférant un avantage sélectif à la plante sont transférés, il peut y avoir transmission de caractères

acquis par un individu au cours de sa vie; un concept qui a contribué à ridiculiser le naturaliste français Jean-Baptiste de Lamarck qui proposait dans sa théorie de l'évolution la transmission de caractères acquis. Or, il semble qu'il n'avait pas complètement tort!

À QUOI ÇA SERT ?

Pour la plupart des hôtes multicellulaires, comme les plantes et les humains, le nombre de cellules du microbiote dépasse par plusieurs ordres de grandeur le nombre de cellules de l'hôte. Mais encore plus intéressant, le répertoire génétique du microbiote est aussi beaucoup plus diversifié que celui de l'hôte, permettant des fonctions uniques et essentielles pour sa survie. Par exemple, l'être humain est incapable de synthétiser la vitamine K, mais son microbiote lui en

fournit suffisamment pour ses besoins. De nombreux insectes, comme les termites, dépendent des enzymes produites par leur microbiote pour digérer le bois dont ils se nourrissent.

Chez les plantes, un des endroits où les interactions avec le microbiote sont les plus actives est la rhizosphère, la zone du sol sous l'influence des racines. La présence de microorganismes particuliers peut y modifier dramatiquement la disponibilité des éléments nutritifs pour la plante. En effet, le microbiote a des capacités uniques que la plante n'a pas. Il peut parfois fixer l'azote atmosphérique, parfois solubiliser le phosphore. La plante est donc dépendante de son microbiote. En échange, elle lui transfère une partie substantielle du carbone qu'elle fixe par la photosynthèse.





PHOTO : © DINESH VALKE

On sait depuis le 19^e siècle que plusieurs légumineuses, comme cette *Erythrina suberosa*, s'associent à des bactéries qui fixent l'azote atmosphérique.

Le microbiote joue aussi un rôle crucial dans la défense de la plante contre les pathogènes et la résistance aux stress environnementaux comme la sécheresse. En effet, certains microorganismes ont la capacité de court-circuiter la production d'éthylène, une hormone végétale de stress. Ce faisant, le microbiote permet à la plante de fonctionner normalement, contribuant ainsi à une meilleure croissance. D'autres bactéries peuvent stimuler le développement du système racinaire de la plante en synthétisant des hormones. La

plante peut ainsi mieux prospecter le sol à la recherche d'eau et de nutriments, ce qui lui procure du même coup un avantage en temps de sécheresse ou dans des sols pauvres.

LES BALBUTIEMENTS D'UNE DÉCOUVERTE

Si notre compréhension du microbiote s'est approfondie ces dernières années, il ne s'agit toutefois pas d'un phénomène nouveau. Par exemple, on sait depuis le 19^e siècle que plusieurs légumineuses

s'associent à la bactérie *Rhizobium*, qui fixe l'azote atmosphérique pour la plante, en échange de carbone.

On connaît des symbioses encore plus vieilles. Le chloroplaste, qui est responsable de la photosynthèse chez les plantes, est lui-même un symbiote. Il y a 1,5 milliard d'années, une cyanobactérie (groupe de bactéries chez qui la photosynthèse est apparue) a intégré un autre organisme unicellulaire. Cette symbiose a donné naissance aux algues vertes et éventuellement aux plantes. Quant aux symbioses entre les plantes et les champignons mycorhiziens, elles remonteraient au moment où les plantes ont colonisé la terre ferme, il y a environ 500 millions d'années.

La révolution génomique qui a cours depuis le tournant des années 2000 nous a permis de comprendre plus finement le phénomène. Aujourd'hui, le concept de l'holobionte met en lumière le fait que la plante et son microbiote forment un tout indissociable et hautement intégré par des millions d'années de coévolution. Et les récentes études illustrant la complexité du microbiote montrent qu'il est risqué d'essayer d'isoler l'effet d'un microbe sans considérer toute la communauté qui



PHOTO : © MARIE-HELENE CROISSETIERE

La gesse maritime (*Lathyrus japonicus*) est une plante québécoise de la famille des légumineuses.

EN MANIPULANT LE MICROBIOTE DES PLANTES, ON POURRAIT ACCROÎTRE LEUR RENDEMENT OU LEUR RÉSISTANCE AUX PATHOGÈNES. L'IDÉE EST DÉJÀ EXPLOITÉE EN AGRICULTURE, AVEC L'USAGE DE MYCORHIZES, ET ELLE FAIT SON CHEMIN EN PHYTOREMÉDIATION, CETTE SCIENCE QUI UTILISE LES PLANTES POUR DÉCONTAMINER DES SOLS POLLUÉS.

l'entoure. D'ailleurs, la maladie, autant chez les plantes que chez l'humain, est souvent la résultante d'une dysbiose, soit un déséquilibre du microbiote, qui augmente la sensibilité de l'hôte aux pathogènes. Cela explique l'intérêt accru, en médecine, à considérer le microbiote dans son ensemble (pathogènes inclus!), plutôt que d'isoler un responsable unique à une maladie.

DE LA THÉORIE À LA PRATIQUE

Le microbiote des plantes suscite beaucoup d'intérêt notamment pour accroître leur rendement ou leur résistance aux pathogènes. Par exemple, l'interaction symbiotique de *Rhizobium* avec des légumineuses, évoquée plus haut, est largement exploitée en agriculture. On enrobe les graines avec la bactérie afin de

s'assurer que la plante sera en contact avec les espèces de *Rhizobium* les plus performantes pour maximiser les rendements.

De façon similaire, on utilise certains champignons mycorhiziens dans le but de diminuer l'usage d'engrais chimiques et de pesticides, puisqu'ils permettraient à plusieurs plantes de mieux résister à certains pathogènes et de mieux extraire le phosphore inorganique du sol. Manifestement, les applications potentielles du microbiote en agriculture sont énormes.

Le microbiote joue aussi un rôle prépondérant en phytoremédiation, soit l'utilisation de plantes pour décontaminer des sols. Dans plusieurs cas, comme pour les composés pétroliers, ce sont les microorganismes qui font le gros du travail, les

plantes étant incapables de décomposer la plupart de ces polluants. Les racines servent de support pour le microbiote, mais aussi de stimulant en oxygénant le sol et en transférant du carbone et des éléments nutritifs à la rhizosphère. Le microbiote, quant à lui, dégrade les composés pétroliers et aide la plante à survivre aux conditions stressantes des sites contaminés.

Des travaux ont montré qu'il était possible de transférer des avantages conférés par le microbiote (par exemple, une meilleure croissance dans les milieux hautement contaminés) en transplantant le microbiote d'une plante à l'autre. Cela démontre que le microbiote est transférable. Une sorte d'évolution accélérée par le microbiote!



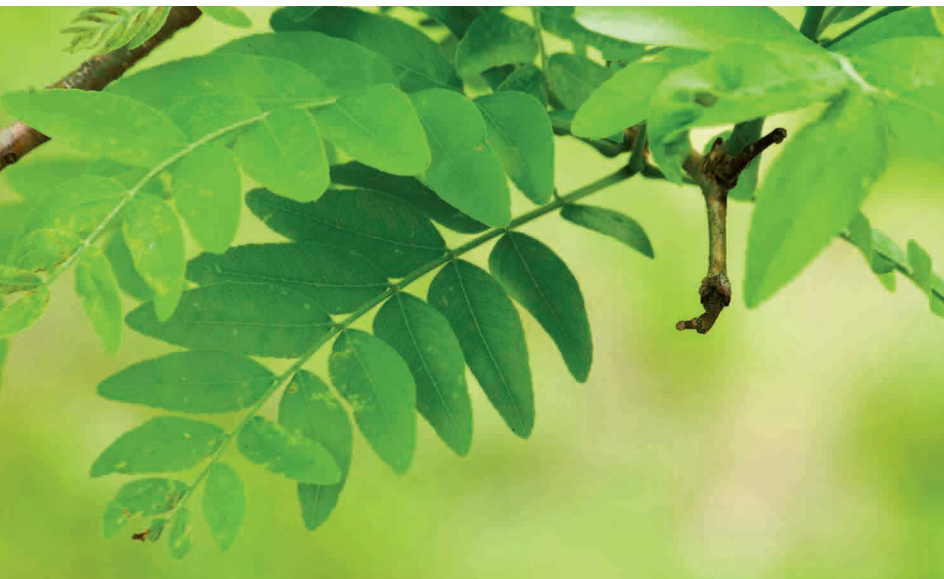


PHOTO : © MARIE-HELENE CROISSETIERE

Les microorganismes présents sur la surface des feuilles contribueraient à la productivité de l'arbre.

La plupart des études sur le microbiote végétal s'intéressent aux racines, mais les microorganismes sont aussi présents ailleurs! Les microbes des feuilles notamment semblent avoir un impact important sur les plantes. C'est ce qu'ont révélé les travaux de doctorat d'Isabelle Laforest-Lapointe dans le laboratoire de Steven Kembel à l'Université du Québec à Montréal (UQAM). Le microbiote de la phyllosphère (zone située à la surface des feuilles) semble avoir un effet important sur la productivité des arbres. Même si l'on ne connaît pas encore les mécanismes sous-jacents, cela suggère que les ingénieurs forestiers devraient s'intéresser au monde microscopique des feuilles des pins et des bouleaux s'ils veulent maximiser la productivité des forêts.

SUR LES TABLETTES

Au supermarché et à la pharmacie, de nombreux produits prétendent avoir un effet bénéfique sur notre microbiote intestinal. On y distingue les probiotiques, qui contiennent des microorganismes vivants, et les prébiotiques, des substances de nature à influencer les microorganismes déjà présents.

Ce qu'on connaît moins, c'est que des probiotiques et des prébiotiques sont aussi offerts pour les plantes! La majorité des produits ont été développés pour des plantes d'intérêt agricole, dans le but d'augmenter les rendements. Ils impliquent souvent *Rhizobium* ou des champignons mycorhiziens. Des produits à base de bactéries promouvant la croissance des plantes sont aussi disponibles. De façon générale, ces produits doivent

être en contact avec la plante dès son plus jeune âge pour maximiser l'efficacité. Pour leur part, les prébiotiques pour plantes sont composés de vitamines, de minéraux, de molécules de signalisation, etc. Malgré l'intérêt manifeste pour ce genre de produits, les résultats sont souvent mitigés, notamment parce qu'on est encore loin d'avoir une connaissance globale de l'impact du microbiote sur la santé des plantes.

QUEL FUTUR POUR LE MICROBIOTE?

La nécessité d'étudier des communautés entières limite en effet notre compréhension du rôle de chaque microorganisme au sein des holobiontes. C'est un peu comme si on essayait de comprendre le fonctionnement de la forêt boréale sans connaître la fonction des espèces composant cet écosystème. Heureusement, de nouvelles approches rendent maintenant possible l'isolation d'une grande partie du microbiote des plantes, permettant d'étudier plus en détail les propriétés de nombreux microorganismes. Parions que nous assisterons prochainement à des découvertes importantes qui mettront en évidence les effets insoupçonnés du microbiote végétal, susceptibles de remédier à plusieurs problèmes environnementaux et agricoles! ■

Simon Joly est chercheur au Jardin botanique de Montréal. Étienne Yergeau est professeur à l'Institut Armand-Frappier.