



Sciences et technologies

# UN RÔLE DE TAILLE POUR LES MICROORGANISMES

Crédit photo : S N Pattenden

**Rosaëlle Perreault**

Étudiante au baccalauréat de biologie  
Université de Sherbrooke

**Isabelle Laforest-Lapointe**

Professeure au Département de biologie  
Université de Sherbrooke

**L**est plus que jamais essentiel d'élucider le rôle des interactions entre les microorganismes et le changement global planétaire afin de protéger la santé des populations humaines et les fonctions des écosystèmes terrestres (i.e. productivité, biodiversité, résilience). Si une grande majorité des recherches portant sur l'effet du changement global envers les écosystèmes s'intéresse aux processus visibles à l'œil nu (le macroscopique), les avancées en biologie moléculaire et en microbiologie nous permettent désormais d'apprécier le pouvoir du très petit : les microorganismes. À la lumière d'études récentes qui démontrent le rôle des microbes dans la lutte au changement global, il est crucial de fournir un effort immédiat, soutenu et concerté pour inclure de façon directe la vie microscopique dans la recherche, le développement de biotechnologies, de même que dans les décisions de politique et de gestion. Même si nous vivons dans « l'Anthropocène », une période géologique définie comme l'ère de la domination de l'être humain sur la planète, force est de constater le rôle de taille que jouent les microorganismes pour les écosystèmes terrestres. Cet article présente l'état des connaissances actuelles sur les rôles des microorganismes des écosystèmes terrestres (i.e. forêts, prairies) et souligne trois avenues de recherche prometteuses visant le développement d'outils de bio-contrôle microbien pour réduire les effets négatifs du changement global: (1) l'ingénierie des interactions plantes-microbes; (2) la séquestration du carbone par les microbes du sol; et (3) les techniques de remédiation basées sur les microbes.

## Le changement global au cœur de « l'Anthropocène »

**L**e changement global est un terme utilisé pour représenter les phénomènes d'origine anthropique à l'échelle planétaire tels que les changements climatiques (i.e. augmentation de la température, risque accru de sécheresse et d'événements climatiques extrêmes), mais également d'autres phénomènes tels que l'exploitation d'une espèce jusqu'à son extinction, l'urbanisation et la pollution. Le changement global est le phénomène au cœur de « l'Anthropocène » (Lewis et Maslin, 2015) : une nouvelle ère géologique définie par une domination totale de l'humain; domination qui constitue une menace réelle à court terme pour de nombreux services écosystémiques tels que la productivité végétale (dont dépend la sécurité alimentaire mondiale) et la biodiversité.

## Consensus scientifique face au changement global

**S**i une grande majorité des recherches portant sur l'effet du changement global envers les écosystèmes terrestres s'intéresse aux processus visibles à l'œil nu (le macroscopique), les avancées en biologie moléculaire et en microbiologie nous permettent désormais d'apprécier le pouvoir du très petit : les microorganismes. En 2019, Cavicchioli *et al.* ont publié un consensus scientifique visant à informer le grand public de l'importance des microorganismes dans la lutte contre le changement global, et appelant les chercheurs à investiguer le rôle de l'infiniment petit face aux nouvelles conditions abiotiques (i.e. dérèglements climatiques, modifications du cycle du carbone) et biotiques (i.e. espèces invasives, nouvelles maladies). Dans ce texte, les chercheurs soulignent l'importance de comprendre non seulement

comment les microorganismes influencent le changement global (par exemple, en séquestrant ou en produisant des gaz à effet de serre) mais aussi comment ils sont affectés par ce phénomène (i.e. augmentation de l'activité microbienne, dispersion accrue par les transports humains) et comment ils pourraient être employés pour mitiger les effets négatifs sur les écosystèmes terrestres (i.e. bio-remédiation, restauration). D'une part, les microbes du sol contribuent à l'augmentation de la production de gaz à effet de serre dans les écosystèmes terrestres, ce qui a un effet d'accélération du changement global. D'autre part, les microorganismes qui colonisent les plantes peuvent augmenter la résilience des écosystèmes terrestres aux changements climatiques et assurer leur productivité. Il est donc crucial de fournir un effort immédiat, soutenu et concerté pour inclure de façon directe la vie microscopique dans la recherche, le développement de biotechnologies, de même que dans les décisions de politique et de gestion des écosystèmes terrestres.

---

## EST-CE QUE LES MICROORGANISMES SONT MENACÉS PAR LE CHANGEMENT GLOBAL PLANÉTAIRE DE LA MÊME MANIÈRE QUE LES MACROORGANISMES ?

*Au cours des quatre derniers milliards d'années, la vie sur Terre a évolué en créant une vaste biodiversité (i.e. plantes, insectes, animaux, microbes) dont notre société dépend pour assurer grand nombre de services essentiels tels que la production alimentaire, la filtration de l'eau et de l'air, ainsi que les biotechnologies produisant médicaments et antibiotiques. Les microorganismes sont apparus sur la Terre il y a plus de 3.8 milliards d'années, un fait qui nous permet d'apprécier l'ensemble des bouleversements planétaires (i.e. glaciation, impact de météorites) auxquels ils se sont adaptés. Ce constat nous permet de supposer que les microorganismes ne sont pas menacés de la même manière que les macroorganismes, et qu'ils s'adapteront aux perturbations climatiques et extinctions massives liées à « l'Anthropocène ». De nos jours, la diversité des macroorganismes diminue à un rythme rapide, une extinction de masse qui découle directement du changement global. Nous ignorons si cette diminution a un impact sur la diversité microscopique. Nous savons néanmoins que l'augmentation du CO<sub>2</sub> atmosphérique, contribuant à l'augmentation de la température, influence la vie microbienne en agissant directement sur la cinétique des activités enzymatiques des microbes. Il est indéniable que le changement global a un impact sur les microorganismes et plusieurs recherches récentes suggèrent que les microorganismes influencent eux-mêmes ce phénomène planétaire. Cependant, force est de constater que le manque actuel de compréhension de l'ensemble des rôles des microorganismes pour les écosystèmes terrestres empêche de bien saisir l'effet total et complexe de cette boucle de rétroaction (Hutchins et al. 2019).*

---

## Une question d'échelle

**L**es microbes (ex : bactéries, champignons, virus) ont une influence indéniable sur la santé de leur hôte et, à plus grande échelle, sur celle des écosystèmes terrestres. Les microorganismes sont uniques à cause de leur mode de reproduction, leur taux de croissance, l'échange horizontal de matériel génétique et l'étendue de leur dispersion géographique. Cette vie invisible

joue notamment un rôle essentiel pour (1) les cycles du carbone et de l'azote, deux éléments essentiels à la vie sur Terre; (2) la régulation des populations animales (incluant les humains), arthropodes et végétales; ainsi que pour (3) la dégradation de plusieurs polluants. Les microbes colonisent tous les habitats de la Terre qui sont occupés par des macroorganismes et même certains habitats dont ils sont les seuls résidents tels que les environnements extrêmes (ex : profondeurs des mers et les bains chauds de soufre). Puisque les microbes colonisent tous les écosystèmes, allant de la toundra

aux forêts tropicales, de la savane aux bancs de corail, des humains aux abeilles, leur influence s'applique donc à l'échelle de l'individu, de la population, des paysages, des écosystèmes et même de la planète. L'article ci-présent s'intéresse particulièrement aux rôles de la vie microbienne au sein des écosystèmes terrestres.

## Les avancées en biologie moléculaire et en microbiologie

La recherche en microbiologie a longtemps été limitée par la nécessité de cultiver les microbes pour pouvoir les regarder sous microscope. Ces microorganismes ont parfois des besoins nutritifs très simples (i.e. sucre simple et oxygène) et sont donc très faciles à cultiver en laboratoire. Cependant, certains ont des besoins nutritifs et/ou des conditions de croissance complexes (i.e. absence d'oxygène) ce qui les rend difficile à manipuler. Conséquemment, les études de microbiologie ont par le passé sous-estimé systématiquement la taille et la diversité des populations microbiennes des écosystèmes. L'amélioration récente des techniques de biologie moléculaire, telles que le séquençage de fragments d'ADN et d'ARN, ont permis une explosion de la recherche en microbiologie et en écologie microbienne.

## Symbiotes et pathogènes

Les microorganismes peuvent agir comme symbiote (avoir un effet bénéfique) pour leur hôte, mais c'est historiquement leur rôle de pathogène qui a motivé le plus grand nombre de recherches. Ces études scientifiques se sont efforcées de comprendre, et plus particulièrement de contrer, les pathogènes microbiens des plantes, des animaux et des humains. C'est d'ailleurs ce rôle de pathogène qui souligne de nos jours le grand impact que peuvent avoir les microorganismes tant à l'échelle de l'individu qu'à l'échelle de la planète. Plus récemment, le domaine florissant de l'écologie microbienne s'est intéressé aux communautés de microorganismes dans leur ensemble, incluant à la fois symbiotes, pathogènes et microorganismes libres, ainsi que leurs interactions avec leur environnement, dans l'optique d'identifier les mécanismes par lesquels ces communautés (nommées *microbiotes*) supportent la dynamique et les services des écosystèmes terrestres.

## Interactions plantes-microbes

Les microorganismes contribuent entre autres aux services cruciaux que les plantes rendent à l'humanité, tels que la transformation du CO<sub>2</sub> et la production d'une énorme partie de la nourriture que nous consommons. Le changement global met en péril les services écosystémiques rendus par les plantes qui font face à de nouveaux défis : (1) invasion d'espèces exotiques, (2) augmentation de la susceptibilité des plantes aux pathogènes, (3) réduction de la diversité génétique pour optimiser la production à court terme (ce qui les rend plus susceptibles à être décimées par un pathogène), et (4) augmentation des stress hydriques. Chez les plantes, les interactions avec les communautés microbiennes du sol et des feuilles facilitent entre autres l'accès aux nutriments et le développement du système immunitaire. Les microbes symbiotes des plantes ont donc la capacité d'influencer la physiologie et le métabolisme de leur plante hôte, voire même les interactions entre espèces végétales. À cause de l'importance des microorganismes du sol pour la croissance des plantes et pour la dégradation de la matière morte, plusieurs recherches se sont intéressées aux microorganismes des racines et du sol. En contrepartie, on commence à peine à saisir le rôle des microorganismes des feuilles des plantes dans le cycle de l'azote et la dégradation des polluants. Récemment, il a été démontré que la diversité des microbes des feuilles des plantes peut influencer positivement la productivité des communautés de plantes (Laforest-Lapointe *et al.* 2017).

## Réduire les impacts du changement global grâce aux microbes

Il y a plusieurs avenues de recherches qui visent à utiliser les capacités métaboliques des microorganismes pour réduire les effets du changement global. Les possibilités identifiées incluent (1) l'ingénierie des interactions plantes-microorganismes pour faciliter la croissance des plantes dans des conditions de stress; (2) la séquestration du carbone à travers l'absorption et l'immobilisation des composés organiques par les microbes du sol; et (3) les techniques de remédiation basées sur les microbes et les plantes pour restaurer les écosystèmes pollués et dégradés.

## Outils de bio-contrôle microbien

Les microbes des plantes jouent un rôle clé pour l'adaptation des plantes au changement global. La productivité des communautés de plantes est fort sensible à l'équilibre hydrique et aux perturbations anthropogéniques (Franklin *et al.* 2016). Il est donc urgent de comprendre de quelle façon nous pouvons optimiser les interactions bénéfiques plantes-microbes afin de limiter les impacts du changement global sur la biodiversité et la productivité des écosystèmes terrestres. De plus, l'impact négatif sur la santé humaine des produits chimiques pour soutenir la productivité agricole pousse les chercheurs à trouver des alternatives pour permettre l'établissement de pratiques durables. Les outils de bio-contrôle microbien (i.e. probiotiques des plantes) pourraient éventuellement remplacer les antibiotiques, antifongiques et pesticides.

## Microbes du sol

Les microbes du sol jouent un rôle essentiel dans la dynamique des écosystèmes terrestres et les activités anthropogéniques perturbent de façon dramatique ces microorganismes (Smith *et al.* 2016). Le carbone qui est entreposé dans le sol dans un état perpétuellement gelé (pergélisol) y est confiné en grande partie par la faible activité des microorganismes à basse température. Avec l'augmentation de la température planétaire, l'activité métabolique des microorganismes commence

cependant à dégrader le carbone organique du sol, ce qui contribue au relâchement de gaz à effet de serre tels que le CO<sub>2</sub> et le méthane (Singh *et al.* 2010). Dans certains écosystèmes terrestres (forêts, prairies, etc.) la modification des patrons de précipitations augmente la fréquence et la durée des sécheresses. L'humidité du sol est fondamentale pour les interactions microbiennes, et donc aussi pour les cycles du carbone et des nutriments du sol incluant les composés dérivés des plantes qui sont essentiels pour la productivité végétale. Comprendre comment manipuler les communautés microbiennes du sol pour rendre les plantes plus résilientes à la sécheresse contribuera à garantir la sécurité alimentaire et à séquestrer du carbone atmosphérique dans les tissus végétaux.

## Décontamination des environnements pollués

Les polluants qui s'accumulent dans l'eau, dans le sol et dans l'air sont une menace directe pour la santé humaine. Pour réduire l'effet négatif de la pollution, les techniques de *bioremédiation* et de *phytoremédiation* font l'utilisation des plantes, des microorganismes et de leurs interactions pour décontaminer les sites pollués. Les microbes qui colonisent l'intérieur des tissus des plantes sont capables d'améliorer la décontamination par les plantes des sites pollués en augmentant la productivité et la survie des communautés végétales dans ces conditions difficiles. De plus, une nouvelle technique, la *phylloremédiation*, permet la dégradation des polluants atmosphériques par les microorganismes des feuilles des plantes. Récemment, une étude a démontré que

### LES RHIZOBACTÉRIES PGPR

*Des rhizobactéries promotrices de la croissance végétale (mieux connues sous le nom de « plant growth promoting rhizobacteria » ou PGPR) sont utilisées pour réduire l'impact des stress chez les plantes causés par la sécheresse. Les PGPR représentent une gamme de bactéries qui colonisent les racines et produisent une grande variété d'enzymes et de métabolites (i.e. exopolysaccharides, phytohormones) qui augmente la tolérance de leur plante-hôte aux stress biotiques (i.e. compétition) et abiotiques (i.e. sécheresse). Voir Vurukonda et al. 2016*

Crédit photo : Cam James

certains microbes des feuilles des plantes dégradent les composés organiques volatiles (Weyens *et al.*, 2015). Vu l'importance de la qualité de l'air sur la santé des populations urbaines, il semble capital d'explorer comment les microbes des plantes peuvent améliorer la qualité atmosphérique en ville.

## Restauration des écosystèmes terrestres

La gestion des écosystèmes terrestres offre une voie efficace de mitigation des effets du changement global. Le changement d'utilisation du territoire (par exemple en transformant une prairie en forêt) et les techniques de production (par exemple en réduisant l'utilisation d'engrais et de pesticides) du territoire, ont un impact sur les fonctions des microorganismes telles que la séquestration du carbone. Plusieurs recherches récentes ont démontré que l'inoculation à l'aide d'un microbiote donneur d'un sol en santé permet d'accélérer la restauration d'écosystèmes dégradés et pauvres en ressources (Wubs *et al.* 2016). Un exemple de mitigation du changement global grâce aux microorganismes est la restauration des territoires appauvris tels que les déserts et les sites miniers abandonnés à l'aide de cyanobactéries (Antoninka *et al.* 2016).

### LES BIO-CROÛTES À LA RESCOUSSE DES DÉSERTS

*Les bio-croûtes sont définies comme des consortia de bactéries, cyanobactéries, champignons, lichens et mousses qui régulent plusieurs processus essentiels des écosystèmes terrestres. Ces consortia permettent entre autres de réhabiliter les sols arides en réduisant leur érosion et en améliorant la rétention de l'humidité. Grâce à leur croissance rapide, les bio-croûtes ont donc un grand potentiel pour optimiser une restauration locale, diverse et multifonctionnelle des écosystèmes. En particulier, les cyanobactéries créent des filaments qui contribuent à la cohésion du sol, même lorsque la biomasse végétale apparente est très faible. Voir Antoninka *et al.* 2016]*

## Conclusion

Nos compagnons invisibles jouent un rôle dans la productivité et la survie des macroorganismes allant des plantes aux êtres humains. Les avancées synergiques en biologie moléculaire et en microbiologie nous permettent d'apprécier la complexité des interactions plantes-microbes, laissant présager

de nouvelles découvertes qui mèneront au développement d'applications permettant de mitiger les effets négatifs du changement global. La communauté scientifique a d'ailleurs un devoir d'éducation afin de stimuler le support du grand public pour la compréhension et l'optimisation des rôles clés des microorganismes permettant la mitigation du changement global. Malgré que « l'Anthropocène » soit définie comme l'ère de la domination de l'être humain sur la planète, force est de constater le rôle de taille que joue la vie microscopique sur les écosystèmes terrestres.

## RÉFÉRENCES

- Antoninka, A., Bowker, M. A., Reed, S. C. et Doherty, K. (2016). Production of greenhouse-grown biocrust mosses and associated cyanobacteria to rehabilitate dryland soil function. *Restoration Ecology*, 24(3), 324-335.
- Cavicchioli, R., Ripple, W. J., Timmis, K. N., Azam, F., Bakken, L. R., Baylis, M., ... et Crowther, T. W. (2019). Scientists' warning to humanity: microorganisms and climate change. *Nature Reviews Microbiology*, 17(9), 569-586.
- Franklin, J., Serra-Diaz, J. M., Syphard, A. D. et Regan, H. M. (2016). Global change and terrestrial plant community dynamics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(14), 3725-3734.
- Hutchins, D. A., Jansson, J. K., Remais, J. V., Rich, V. I., Singh, B. K. et Trivedi, P. (2019). Climate change microbiology—problems and perspectives. *Nature Reviews Microbiology*, 17(6), 391-396.
- Laforest-Lapointe, I., Paquette, A., Messier, C. et Kembel, S. W. (2017). Leaf bacterial diversity mediates plant diversity and ecosystem function relationships. *Nature*, 546(7656), 145-147.
- Lewis, S. L. et Maslin, M. A. (2015). Defining the anthropocene. *Nature*, 519(7542), 171-180.
- Singh, B. K. *et al.* (2010). Microorganisms and climate change: feedbacks and mitigation options. *Nat. Rev. Microbiol.* 8, 779-790 .
- Smith, P., House, J. I., Bustamante, M., Sobocká, J., Harper, R., Pan, G., ... et Paustian, K. (2016). Global change pressures on soils from land use and management. *Global change biology*, 22(3), 1008-1028.
- Vurukonda, Sai Shiva Krishna Prasad *et al.* (2016). Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growth promoting rhizobacteria. *Microbiological research*, 184, 13-24.
- Weyens, N., Thijs, S., Popek, R., Witters, N., Przybysz, A., Espenshade, J., ... et Gawronski, S. W. (2015). The role of plant-microbe interactions and their exploitation for phytoremediation of air pollutants. *International journal of molecular sciences*, 16(10), 25576-25604.
- Wubs, E. J., Van der Putten, W. H., Bosch, M. et Bezemer, T. M. (2016). Soil inoculation steers restoration of terrestrial ecosystems. *Nature plants*, 2(8), 1-5.