

## **Changement climatique et microbiote du sol : quels impacts et challenges pour l'agriculture de demain ?**

**Le microbiote du sol est étroitement lié aux cycles biogéochimiques des différents éléments nutritifs essentiels pour la croissance des plantes. Face au changement climatique, l'un des enjeux majeurs à venir sera de pouvoir maintenir une agriculture durable permettant de nourrir les populations. Dans ce contexte, comprendre et prédire l'impact de ce changement climatique (réchauffement, sécheresse, ...) sur le microbiote du sol et les services écosystémiques qu'il fournit, et la possibilité d'exploiter cette ressource pour limiter les effets négatifs du changement climatique, s'avère être d'une importance cruciale.**

### **Microbiote et compartiments du sol**



Le microbiote du sol est constitué de l'**ensemble des micro-organismes** (bactéries, archae, champignons, protistes, virus) **vivant dans le sol**.

On peut distinguer deux types de compartiments : le **sol libre** de toute influence directe des racines des plantes, et la **rhizosphère**, c'est-à-dire la zone de sol située à proximité des racines, intimement liée au système racinaire, et sous l'influence du métabolisme de la plante. Les micro-organismes de la rhizosphère entretiennent des relations étroites avec les plantes.

### Relations microbiote/sol et microbiote/plantes



Le microbiote du sol joue un rôle majeur dans le **maintien de la santé des sols** à travers un ensemble d'activités et d'interactions complexes avec les plantes.

Le microbiote contribue à la **structuration des sols** : par la production de molécules organiques, les bactéries permettent la formation d'agrégats, favorisant l'aération du sol et un passage de l'eau, le rendant plus favorable au développement des plantes.

Les micro-organismes sont également les **principaux moteurs des cycles biogéochimiques de la biosphère**, affectant considérablement le métabolisme du carbone (C) et du soufre (S), le flux d'azote (N) et la mobilisation du phosphore (P) dans l'environnement. En effet, les matières organiques (MO) nécessitent d'être minéralisées pour être assimilées par les plantes. Les micro-organismes, en dégradant les MO pour leur besoin en ressources, permettent la libération des éléments minéraux dans le sol, les rendant disponibles pour les plantes. D'autre part, de nombreux micro-organismes de la rhizosphère vont **contribuer directement à la croissance des plantes**, ce sont les PGPR (Plant Growth-Promoting Rhizobacteria) (voir également sur le sujet des PGPR notre billet : [Quand les micro-organismes bénéfiques aident les plantes à se défendre](#)).

A l'inverse, les plantes ont également un rôle à jouer dans l'établissement des communautés microbiennes, au niveau de la rhizosphère, en recrutant les micro-organismes disponibles dans la fraction de sol libre.

## Impact du changement climatique sur le microbiote du sol



L'environnement du sol est très dynamique lorsque l'on considère les changements d'humidité, de température ou encore de pH, tous ces paramètres influençant les communautés microbiennes. Cependant, le changement climatique va probablement introduire des **changements encore plus extrêmes** en terme d'augmentation de température, fréquence de sécheresse ou d'inondations, etc., qui auront des conséquences sur la stabilité et la résilience du microbiote du sol.

### Augmentation des températures

Une des conséquences du changement climatique est l'augmentation des températures. Une telle augmentation aura pour conséquence une **modification globale de la composition des communautés microbiennes**, avec notamment une diminution de l'abondance fongique et une augmentation en bactéries Gram-positives, mais également une modification de l'expression de

certains gènes des micro-organismes.

La résilience des communautés microbiennes à des températures élevées est fortement dépendantes des effets combinés de la sécheresse, du réchauffement et du type de plantes. Bien que la plupart des modèles prédisent un effet de rétroaction positive (phénomène par lequel un effet agit sur ses causes d'une manière qui tend à l'amplifier) en conséquence du réchauffement, dû à une augmentation de la respiration du sol et à une diminution du stockage de carbone dans le sol, au profit d'une augmentation du niveau de CO<sub>2</sub> atmosphérique, il y a des résultats expérimentaux contradictoires en fonction des écosystèmes étudiés.

## **Augmentation des pluies/inondations**

Sous l'effet de **pluie plus abondantes** (ou d'inondations), les pores du sol vont se remplir d'eau et devenir **anaérobiques** (sans oxygène), ce qui pourra avoir pour effet de **modifier la composition des communautés microbiennes**.

Un cas particulier est celui de l'augmentation du niveau de la mer et donc de l'augmentation de la surface des sols sous l'influence d'eau salée. La montée des eaux océaniques a pour conséquence l'introduction de sel et de sulfate à la surface des sols. L'augmentation de sulfate a pour effet indirect l'augmentation de la biomasse microbienne du sol et l'augmentation de la minéralisation du carbone organique dans le sol, entraînant une augmentation du niveau de production du CO<sub>2</sub>.

## Sécheresse



La sécheresse est probablement le stress abiotique qui aura le plus de conséquences sur le microbiote du sol. En plus du stress osmotique, la sécheresse du sol va **augmenter son hétérogénéité, limiter la mobilité des nutriments, et donc leur accès par les micro-organismes, et augmenter l'oxygène du sol** ; tout cela entraînant une **diminution de la biomasse microbienne** et de leurs fonctions associées qui sont importantes pour le maintien d'un écosystème durable.

Au-delà d'une **diminution de la biomasse**, on observe également une **modification des communautés**, avec une augmentation des bactéries Gram-positives et des formes dormantes.

Les champignons avec hyphes, quant à eux, se montrent plus adaptés aux conditions de sécheresse : les hyphes leur permettant d'atteindre les ressources moins bien distribuées dans le sol.

## Utilisation de micro-organismes pour lutter contre la sécheresse

Les **bactéries et champignons PGP** (Plant Growth-Promoting) pourraient être **utilisés en apport supplémentaire** (liquide, granulés, ou en enrobage de semence) afin d'**atténuer les conséquences de la sécheresse sur les plantes en optimisant leur croissance**, par exemple *via* l'augmentation de l'assimilation de nutriments. **D'autres pistes sont explorées pour l'utilisation de ces micro-organismes**, comme l'utilisation de bactéries formant des biofilms à la surface des racines, protégeant ainsi les plantes de la dessiccation. Certains micro-organismes bénéfiques du sol peuvent produire de phytohormones qui stimulent la production de racines permettant d'augmenter l'apport en eau à la plante, d'autres encore peuvent produire et stimuler la production d'osmolytes dans les racines qui permettent le maintien de la turgescence cellulaire et protègent la structure des macromolécules.

L'impact des paramètres physico-chimiques sur les micro-organismes, sans parler des interactions réciproques entre le microbiote du sol et les plantes (notamment des plantes cultivées), restent **encore mal connus** et demandent donc un **effort de recherche particulier** sur ces thématiques afin de pouvoir anticiper les conséquences inévitables du changement climatique sur une production agricole durable. Connaissant le rôle des micro-organismes du sol et les services écosystémiques rendus par ces derniers (notamment en lien directe avec les plantes), il apparaît nécessaire de connaître et de pouvoir caractériser l'impact du changement climatique sur le microbiote du sol afin de pouvoir prédire l'effet de ce changement sur les cultures. En effet, la compréhension de l'impact du microbiote, et de sa modification, sur le sol et les plantes semble crucial. Ces connaissances pourraient permettre de préserver au mieux des sols en bonne santé et idéalement d'exploiter les micro-organismes du sol afin d'atténuer les effets négatifs de ce changement, soit de manière directe par la modification des communautés microbiennes (en sélectionnant un microbiote favorable, conférant aux plantes tolérance à la sécheresse et

résilience), soit de manière indirecte, par la modification de leur fonctions en changeant les pratiques agricoles ou en utilisant des inocula comme probiotiques environnementaux.

**En France, différentes unités de recherche**, comme l'**UMR EcoSol** à Montpellier, l'**UMR Agroécologie** de l'INRAE de Dijon et sa plateforme [GenoSol](#), ou encore l'**UMR d'Ecologie Microbienne** à Lyon (unités fédérées dans le réseau PhytoMic), **sont particulièrement impliquées dans ces thématiques**. Le **réseau PhytoMic**, en partenariat avec le Consortium Biocontrôle et Agri Sous-Ouest Innovation, ont récemment organisé un colloque intitulé « Microbiome et Biocontrôle ». Il existe également des programmes de sciences participatives, tel que le programme [Res'Eau Sol](#), qui s'intéresse à la santé des sols dans le contexte du changement climatique.

Ce billet a été rédigé par Charlotte Roby, ingénieur R&D biologie moléculaire à Vegenov.

## Références :

Jansson, J.K., Hofmockel, K.S. Soil microbiomes and climate change. *Nat Rev Microbiol* **18**, 35–46 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41579-019-0265-7>

Naylor D and Coleman-Derr D. Drought Stress and Root-Associated Bacterial Communities. *Front. Plant Sci.* 8:2223 (2018). DOI: 10.3389/fpls.2017.02223



Crédits photos :

© sarayut\_sy #282082450 © Adobe Stock

© adimas #23100521 © Adobe Stock

© jzsitoeroe #253749906 © Adobe Stock

© Bits and Splits #159466687 © Adobe Stock