

POPULATIONS MICROBIENNES ASSOCIEES A LA PLANTE (Phytosphère)

La phytosphère est un habitat attractif pour les micro-organismes en raison de l'abondance de nutriments et de stabilité relative de l'environnement. Les micro-organismes qui occupent cet habitat aident à l'absorption des nutriments dans les sols et peuvent exercer une influence considérable sur la santé globale de la plante.

1- Les microorganismes associés aux plantes

Les interactions microorganismes-plantes se divisent en deux classes :

- les microorganismes qui vivent à la surface des plantes sont dits épiphytes.
- les microorganismes qui colonisent les tissus végétaux internes sont dits endophytes. En outre, on peut considérer séparément les microorganismes qui vivent à la surface des plantes, situés au dessus du sol (aériennes), et ceux qui habitent les tissus végétaux au dessous du sol.

1-1 Les microorganismes de la phyllosphère

La phyllosphère est constituée des parties aériennes d'une plante (i.e. au-dessus du niveau du sol). Elle est colonisée par des microorganismes, qui sont habituellement de simples commensaux, ils peuvent devenir pathogènes, lorsque la surface de la plante est endommagée.

Pour les microorganismes épiphytes, vivant à la surface des plantes, la phyllosphère constitue un habitat extrême et instable, oligotrophe, pauvre en nutriments carbonés et azotés et soumis à des stress multiples (rayonnement lumineux, rayonnement UV, température, dessiccation). Les microorganismes épiphytes peuvent développer des mécanismes d'adaptation aux conditions de vie dans la rhizosphère. Par exemple ils peuvent produire des EPS pour mieux adhérer et se protéger de la dessiccation. Ils peuvent aussi produire des phytohormones comme l'acide indole-3-acétique, qui favorise le relargage de nutriments par relâchement de la paroi végétale.

La phyllosphère est un habitat de divers microorganismes, dont des bactéries, des champignons filamenteux, des levures et des protistes photosynthétiques et hétérotrophes.

Parmi les genres bactériens présents, *Pseudomonas* et *Erwinia* sont les plus importants en nombre. Un autre genre bactérien abondant, *Sphingomonas*, qui est spécialement équipé pour survivre à la forte irradiation UV que subissent les surfaces végétales. Cette bactérie commune aussi dans les sols et les eaux peut atteindre les 10^8 cellules par gramme de tissu végétal. Les microorganismes de la phyllosphère jouent des rôles importants dans la protection et peut être l'agression des plantes.

2-2 Les microorganismes de la rhizosphère et du rhizoplan

Le rhizoplan est la surface des racines.

La rhizosphère est la région du sol située au voisinage immédiat des racines des plantes, cette région est directement influencée par les racines (exsudats racinaires). Elle représente le lieu d'échange actif entre la plante, le sol et les microorganismes.

La rhizosphère est le lieu de rencontre entre « le biologique et le minéral ».

Les communautés microbiennes localisées autour des racines au niveau de la rhizosphère sont les plus étudiées et les mieux caractérisées car elles sont directement impliquées dans la production agricole du fait de leur rôle dans la bioaccessibilité des nutriments minéraux.

2-2-1 Diversité microbienne dans la rhizosphère

La rhizosphère comprend une grande diversité de microorganismes, elle peut contenir jusqu'à 10^{10} bactéries par gramme de sol. Les racines peuvent donc influencer directement sur les communautés microbiennes eucaryotes et procaryotes présentes dans le sol. En effet, la rhizosphère est une zone fortement active où ont lieu de nombreux dialogues entre la plante et les bactéries

Les microorganismes de la rhizosphère interagissent entre eux et avec le système racinaire des plantes, exerçant des effets délétères (parasitisme), neutres (commensalisme) ou bénéfiques (mutualisme) sur la croissance et la santé des plantes.

a- Microorganismes bénéfiques pour les plantes :

- Champignons mycorrhiziens : apportent à la plante des éléments nutritifs comme le phosphore. 80% de toutes les espèces de plantes terrestres forment des relations symbiotiques avec les mycorhizes.
- Bactéries fixatrices d'azotes : diverses bactéries sont capables de fixer l'azote atmosphérique et le rendre ainsi disponible pour les plantes. Certaines vivent pour cela en symbiose avec des plantes (ex : *Rhizobium*, *Frankia*), alors que d'autres vivent librement dans le milieu (*Azotobacter*, *Azospirillum*, etc.),
- Bactéries promotrices de croissance (PGPR : Plant Growth Promoting Rhizobacteria) : certaines bactéries (ex : genre *Bacillus* et *Pseudomonas*) sont des antagonistes capables de protéger les plantes contre les attaques des microorganismes pathogènes.

b – Microorganismes commensaux (indifférents) : utilisent à leurs profits des ressources provenant de la plante sans lui causer de dommage,

c- Microorganismes délétères : nombreuses bactéries et champignons pathogènes. Exemples *Ralstonia solanacearum* (pourriture brune pomme de terre, tomate), *Agrobacterium tumefaciens* (galle du collet)

2-2-2 Activités microbiennes dans la rhizosphère

Les interactions microorganismes-plantes sont en grande partie chimiques.

a) L'effet rhizosphère

La population importante de microorganismes dans la rhizosphère est due aux substrats énergétiques abondants qui s'y trouvent. La plante nourrit les bactéries, champignons et autres espèces microbiennes dans la rhizosphère, qui à leur tour en échange, sécrètent des enzymes, des acides organiques, des antibiotiques, des hormones de croissance et d'autres substances qui sont absorbés par les racines et transportés vers les feuilles.

b) Nature des rhizodépôts

La « rhizodéposition » constitue l'ensemble des composés organiques libérés par les racines. La plante produit différents types de rhizodépôts :

- **Les exsudats:** diffusion passive hors des cellules des molécules hydrosolubles de faibles poids moléculaires émises dans le sol. Ces exsudats regroupent essentiellement des sucres, des acides organiques et des acides aminés. Les exsudats racinaires agissent comme des messagers qui stimulent la communauté microbienne. Certains composés de la plante favorisent la croissance des bactéries bénéfiques ; d'autres affaiblissent et repoussent les bactéries nuisibles.

- **Les sécrétions :** processus actif consommant de l'énergie, concernent généralement des composés de poids moléculaires élevés, comme enzymes ou mucilages (substances végétales, constituées de polysaccharides, qui gonflent au contact de l'eau en prenant une consistance visqueuse).

- **Les lysats:** constitués des produits d'autolyse de cellules épidermiques sénescents et desquamés. La dégradation microbienne des parois permet de libérer le contenu cytoplasmique des cellules. On trouve dans ces produits une grande quantité de carbone organique, source d'énergie pour les microorganismes.

- **Les gaz :** les racines libèrent des composés volatils tels que le CO₂, l'éthylène (phytohormone), les alcools (éthanol, méthanol) et des aldéhydes (formaldéhyde, acétaldéhyde, propionaldéhyde), qui peuvent influencer à distance la germination de spores fongiques.

Les substances libérées par les racines varient aussi bien quantitativement que qualitativement d'une variété de plante à l'autre. Elles sont d'autre part fortement influencées par tous les facteurs influençant l'activité photosynthétique et la croissance de la plante : lumière, température, teneur en eau du sol, structure du sol, ect.

c) Activité des microorganismes de la rhizosphère

L'activité rhizosphérique est déterminée par le fonctionnement des racines, plus particulièrement l'exsudation racinaire, qui correspond à l'émission des produits organiques. Ces derniers diffusent dans le sol et servent de composés carbonés (carburant) aux microorganismes du sol, tels que les bactéries et les champignons.

L'activité microbiologique dans la rhizosphère a diverses conséquences pour les plantes :

- solubilisation des éléments nutritifs facilitant leur absorption par les plantes ;

- synthèse des substances de croissance (hormones) qui peuvent influencer le métabolisme de la plante ;

- production de composés toxiques par certains microorganismes ou la capacité de détoxification par exemple de composés phénoliques par d'autres peuvent directement agir positivement ou négativement sur la physiologie de la plante ;

- synthèse des sidérophores, agents chélateurs, peuvent également favoriser ou freiner l'assimilation d'éléments comme le fer, le manganèse et le zinc.

- biocontrôle (protection contre les pathogènes ou, à l'inverse, attaque des racines)..
- Fixation de l'azote atmosphérique par des bactéries spécifiques chez les légumineuses (mode de fixation symbiotique) ou la fixation libre par d'autres bactéries, comme le genre *Azotobacter*.

2-2-3 Intérêt agronomique de la rhizosphère

La rhizosphère joue un rôle essentiel dans

- la modification de la structure du sol
- la nutrition des plantes
- la résistance des plantes aux maladies

a) Modification de la structure du sol : La rhizosphère crée autour des racines un milieu particulièrement favorable à la circulation de l'air, de l'eau et des éléments solubles, et par conséquent au développement de la plante.

b) Nutrition des plantes : les interventions microbiennes dans les cycles des divers éléments minéraux (carbone, soufre, fer, phosphore, etc) sont particulièrement intenses dans la rhizosphère. L'activité des micro-organismes transformant l'azote organique en azote ammoniacal est augmentée dans la rhizosphère (l'ammonisation y est environ 4 fois plus intense que dans le reste du sol). Il a été constaté, par exemple, que l'absorption de phosphore par les plantes augmente de plus de 100 % dans les plantes pourvues de leur rhizosphère par rapport aux plantes cultivées en milieu stérile.

c) résistance des plantes aux maladies : Les pathogènes sont plus virulents au contact des racines stériles qu'au contact de racines entourées de leur rhizosphère. Par exemple, Il est probable que la production d'antibiotiques par des microorganismes de la rhizosphère joue un rôle de substances inhibitrices.

2-2-4 Facteurs déterminant l'activité de la rhizosphère

L'activité microbienne dans la rhizosphère est régie :

- par des facteurs de l'environnement climatique, notamment humidité de l'air, température, radiation solaire, teneur en CO₂, ... ;
- par des facteurs de l'environnement édaphique, notamment : teneur du sol en eau et en oxygène, température du sol, teneur du sol en éléments assimilables par les plantes, présence de composés phytotoxiques.
- par des échanges de « molécules signal entre les racines des plantes et les microorganismes qui leur sont associés » (champignons, bactéries, cyanobactéries...), mais le rôle et l'importance de ces molécules est encore mal connu pour une symbiose associative entre les PGPR (Plant-Growth Promoting Rhizobacteria) et une plante. Les signaux rhizosphériques influent sur l'expression génique. Ils sont souvent « phytobénéfiques » en améliorant par exemple la croissance et le fonctionnement du système racinaire.

2-2-5 Diversité fonctionnelle des populations microbiennes des sols

Les bactéries et les champignons sont les deux principaux groupes en quantité et en diversité de microorganismes trouvés dans la rhizosphère. Ils se répartissent en familles, genres et

espèces, mais aussi en communautés et groupes physiologiques constitués de diverses populations possédant en commun une ou plusieurs activités métaboliques bien définies. Ils mettent en œuvre des stratégies nutritionnelles et énergétiques très diversifiées leur permettant de vivre en utilisant aussi bien des produits organiques (microorganismes dits chimioorganotrophes ou hétérotrophes) que des composés minéraux (bactéries dites chimiolithotrophes ou autotrophes), en présence et en absence d'oxygène (Berthelin, 1998)

Les bactéries chimioorganotrophes (*Pseudomonas*, *Bacillus*, *Enterobacter*, etc.) et les champignons (*Aspergillus*, *Penicillium*, etc.) représentent plus de 50 % de la microflore totale rhizosphérique. Ils produisent dans la rhizosphère divers composés acides et/ou complexants au cours de la biodégradation de matières organiques d'origine végétale, qu'ils utilisent comme source de carbone et d'énergie.

La densité et l'activité microbienne sont stimulées par la sécrétion de composés organiques.

Il a été montré que la diversité végétale sélectionne dans sa rhizosphère une communauté microbienne susceptible d'utiliser les ressources nutritives que fournissent son métabolisme et son développement racinaire. De la même manière, la nature des résidus et des déchets végétaux (litière) peut orienter la diversité fonctionnelle des microorganismes.