

Relations

plantes-microorganismes

Master 2 Microbiologie Appliquée

Enseignante : Dr. Akroum

1. Les interactions plantes-microorganismes :

La survie, la croissance et le développement d'une plante peuvent être fortement influencés par les interactions ou échanges qui existent dans la rhizosphère :

- entre les microorganismes.
- les microorganismes et les plantes.
- les plantes entre elles.
- les plantes et les insectes.
- etc.

Parmi les interactions qui sont dues aux microorganismes, on peut donc citer les deux premiers cas :

* **Les interactions entre les microorganismes :** en effet, les microorganismes qui interagissent entre eux peuvent causer une perturbation de la flore microbienne de la rhizosphère, ce qui induit à une modification de la nutrition et l'équilibre de la plante.

De même, certains microorganismes produisent des toxines et autres moyens de défense contre les germes antagonistes et ceci risque de causer des pathologies aux plantes, comme ça peut les protéger contre les microorganismes phyto-pathogènes.

* **Les interactions entre les microorganismes et les plantes :** certains microorganismes produisent une large gamme de minéraux dans le sol, ce qui améliore la nutrition minéral de la plante. Exemples : les mycorhizes ou les espèces fixatrices de l'azote.

D'autres microorganismes, au contraire, se développent en altérant les plantes. Ils jouent le rôle de parasites qui causent des maladies très graves et très contagieuses chez les plantes. Ce qui endommage souvent de grands champs de culture.

Les principales interactions qui impliquent les microorganismes et qui peuvent influencer positivement ou négativement la croissance des plantes sont les suivantes :

1.1. La symbiose : c'est une association obligatoire entre deux individus qui s'échangent des intérêts. La symbiose peut être unilatérale (obligatoire pour un seul partenaire) ou bilatérale (obligatoire pour les deux).

Exemples :

Les mycorhizes qui sont hétérotrophes et qui ne peuvent pas survivre sans l'association d'une plante. Ils offrent à cette dernière une grande richesse nutritive et la protège contre les pathogènes. La plante de son côté peut survivre sans ces champignons. La symbiose est donc unilatérale dans ce cas.

Les *Rhizobium* qui vivent dans les nodules des racines chez les légumineuses fixent l'azote atmosphérique et le donne la plante pour sa nutrition. D'un autre côté, ces bactéries ne peuvent pas vivre en dehors des nodules. La symbiose est bilatérale entre les légumineuses et ces microorganismes.

1.2. Le mutualisme : c'est un échange d'intérêts entre deux organismes. A la différence de la symbiose, le mutualisme est une association non obligatoire et les individus impliqués ne sont pas étroitement liés.

Exemple :

Les microorganismes qui libèrent dans le sol des minéraux, des substances de croissance et des vitamines permettant ainsi de favoriser la croissance de la plante. D'un autre côté, ils tirent profit de la matière organique libérée par la plante → les microorganismes comme la plante gagnent des intérêts, mais ils peuvent survivre les uns sans les autres.

1.3. Le parasitisme (parasitoïdisme) : c'est le cas où une espèce se nourrit et se développe aux dépens d'une autre, le plus souvent en lui causant des pathologies. Deux cas de parasites sont connus : les ectoparasites qui se lient à l'hôte de l'extérieur et les endoparasites qui pénètrent à l'intérieur de l'hôte.

Exemples : tous les microorganismes phyto-pathogènes.

1.4. Le saprophytisme : c'est le cas d'un organisme qui vit lié à un autre afin d'utiliser ses déchets sans lui causer du tort (l'hôte ne subit aucun dommage). Exception faite si l'organisme produit des toxines.

Il est important de noter que plusieurs saprophytes sont des opportunistes.

1.4. L'opportunisme : un microorganisme opportuniste est un germe qui vit dans l'hôte sans lui causer du tort, généralement par saprophytisme, jusqu'à ce qu'une opportunité lui permette de devenir pathogène (faiblesse des défenses naturelles de l'hôte, conditions physicochimiques qui deviennent favorables, présence d'un autre germe lui permette d'attaquer l'hôte, etc.).

1.5. Le commensalisme : c'est le cas où un individu gagne des avantages d'un autre individu, et où ce dernier reste inchangé (n'a ni intérêts, ni torts).

Exemple :

Les microorganismes qui vivent dans la rhizosphère et qui se nourrissent par les déchets excrétés par les plantes (matières organiques, minéraux présents en excès, etc.).

1.6. La prédation : c'est le cas où un organisme vivant se nourrit d'un autre. Ils sont qualifiés de « prédateur » et « proie ».

Exemples :

Les bactéries et les champignons qui se nourrissent des phages. Ceci peut protéger les plantes contre plusieurs maladies.

Les champignons qui se nourrissent d'insectes.

1.7. La compétition : la compétition se produit quand deux organismes ont les mêmes besoins et se font concurrence pour les avoir. Ils peuvent dans ce cas s'attaquer mutuellement.

Exemples :

Une plante et des bactéries photosynthétiques qui ont les mêmes besoins en minéraux.

Deux moisissures qui vivent dans la rhizosphère et qui ont toutes les deux besoin de la matière organique fournie par la plante.

Remarque : la compétition entre les microorganismes présents dans la rhizosphère peut avoir des avantages et des inconvénients pour la plante.

Exemple d'un avantage : un microorganisme qui supprime un autre microorganisme pathogène pour la plante.

Exemple d'un inconvénient : perturbation de la flore naturelle du sol → déséquilibre du pH et des minéraux de ce dernier.

1.8. L'amensalisme (ou l'antibiose) : l'amensalisme implique un impact entre deux individus où l'un ne subit rien et l'autre subit des effets néfastes.

Exemple :

Un *Penicillium* qui produit des antibiotiques car les conditions sont défavorables. Il cause alors la destruction de plusieurs espèces bactériennes présentes dans les alentours et n'en tire aucun avantage. Ce cas de figure est souvent très avantageux pour les plantes qui deviennent protégées d'un grand nombre d'infections.

1.9. Le neutralisme : c'est le cas où deux espèces vivent à proximité l'une de l'autre sans s'influencer (ni en bien, ni en mal). Ceci se produit généralement quand elles n'ont pas les mêmes besoins et ne produisent pas des toxines ou des éléments de croissance qui peuvent modifier le développement et la reproduction de l'autre.

Le neutralisme peut exister entre deux espèces végétales, deux microorganismes, ou entre une plante et un microorganisme.

1.10. La coopération : la coopération représente une entraide entre deux organismes ou plus pour arriver à un objectif commun.

Exemple :

Les bactéries et les végétaux qui utilisent des enzymes microbiennes et végétales afin de dégrader les macromolécules présentes dans le sol.

1.11. Le nécrophagie : le nécrophage est un organisme qui se nourrit de cadavres (organismes morts). Les protozoaires, les levures et les bactéries sont des nécrophages qui jouent un rôle important dans l'enrichissement du sol.

Exemples :

Les protozoaires qui se nourrissent de bactéries et de levures mortes.

Les bactéries, les protozoaires et les autres microorganismes qui dégradent les cadavres des animaux.

Remarque :

Un nécrophage peut-être assimilé à un charognard, mais la différence entre les deux est importante. Car le charognard est un « prédateur » qui se nourrit de cadavres, mais surtout d'organismes vivants.

2. Le rôle des transformations microbiennes dans la nutrition minérale des plantes :

Certains microorganismes présents dans le sol peuvent attaquer les plantes et leur causer des infections sévères. Mais d'autres au contraire sont très bénéfiques pour les végétaux car ils améliorent leur nutrition minérale et inhibent la croissance des phyto-pathogènes.

Les microorganismes bénéfiques peuvent vivre en symbiose avec les plantes, comme les mycorhizes et les nodosités bactériennes, ou être seulement présents dans le sol pour véhiculer les cycles géochimiques. Dans la majorité des cas, ces microorganismes entretiennent une relation de symbiose ou de mutualisme avec les plantes.

Les principaux intérêts qu'apportent ces protistes aux plantes sont :

1. Les bactéries qui forment des nodosités au niveau des racines végétales fournissent à la plante l'azote qu'elles fixent de l'atmosphère. Ces bactéries sont généralement des espèces de *Rhizobium* et *Bacillus*, donc des hétérotrophes. La plante leur donne en échange la matière organique nécessaire à leur survie et développement. La relation entre la plante et ces bactéries est une « symbiose bilatérale ».

2. Un grand nombre de microorganismes vit librement dans le sol et n'entretient pas de relation symbiotique avec les plantes. Ces germes se nourrissent de cadavres (animaux, insectes morts, etc.), de déchets (feuilles mortes, excréments, etc.), de matière organique en décomposition et d'autres substances présentes dans le sol. En se développant et en croissant, ces protistes libèrent une grande diversité de minéraux et de matière organique primaire, ce qui rend les sols très fertiles et donc adéquats pour optimiser la croissance des plantes (ceci et le principe même du compostage). La relation ici entre les plantes et les microorganismes est un « mutualisme ».

Ces germes jouent un rôle primordial dans les cycles géochimiques (cycles de carbone, d'azote, etc.).

3. Les champignons qui forment des mycorhizes offrent à la plante les avantages suivants :

- une grande diversité de minéraux qu'ils absorbent à partir du sol.
- une protection contre les polluants et les microorganismes phyto-pathogènes, ceci en produisant des mycotoxines, des antibiotiques et autres composés de défense.
- une protection des racines contre les métaux lourds (exemples : nickel, mercure, plomb, etc.) et des substances radioactives (exemple : césium radioactif : césium 137) qu'ils absorbent à la place de la plante.
- une meilleure absorption de l'eau et des éléments nutritifs due à la croissance et au développement des racines qui sont protégées et mieux nourries (Figure 1).

Les mycorhizes sont des hétérotrophes. Tout en donnant à la plante les avantages cités, ils tirent d'elle la matière organique nécessaire à leur survie. Ils sont dits « hétérotrophes obligatoires » et entretiennent avec la plante une « symbiose unilatérale ». Car bien que la plante gagne beaucoup d'intérêts grâce aux mycorhizes, elle peut néanmoins survivre en leur absence.

Remarque :

Un grand nombre d'espèces mycorhiziennes ne peut vivre sans cette association avec les plantes, notamment les Basidiomycètes et certains Ascomycètes.



Figure 1 : Comparaison de la croissance des racines avec et sans stimulation.

3. L'utilisation des plantes sous forme d'engrais :

Plusieurs espèces microbiennes sont commercialisées actuellement sous forme d'engrais destinés à stimuler la croissance des plantes (engrais stimulants), à fertiliser les sols (engrais fertilisants) et à protéger les cultures contre les attaques microbiennes (engrais pharmaceutiques).

Il est important de noter que la majorité des germes phyto-pathogènes sont des champignons, plus précisément des moisissures et des levures. Ces microorganismes sont responsables de plus de 80 % des infections végétales.

Les microorganismes qui sont utilisés comme engrais doivent être :

- non pathogènes pour les plantes.
- faciles à obtenir (à isoler) et à cultiver.
- résistants aux changements des conditions physicochimiques (changements climatiques, modification du pH du sol, etc.).

Les principales espèces sont des Actinomycètes ou appartiennent aux genres : *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Bacillus* (*B. megaterium*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens*), *Lactobacillus* (*L. ramosus*), *Trichoderma*, *Glomus*, *Pseudomonas*, etc. (Figure 2).

Remarque :

Trichoderma et *Glomus* sont des mycorhizes très communs et répandus.



Figure 2 : Photo d'une vigne stimulée avec *Pseudomonas sp.* utilisée comme engrais (Ait Barka et al. 2000).

A gauche : la plante stimulée. A droite : la plante non stimulée.

4. Tolérance des plantes aux stresses grâce aux microorganismes :

Les microorganismes offrent la plante la possibilité de résister à plusieurs stresses environnementaux et aux attaques des organismes néfastes.

La résistance à la sécheresse : les bactéries qui vivent en symbiose avec les plantes, de même que les mycorhizes, permettent à la plante de résister à la sécheresse en diminuant l'échappement en eau des cellules végétales (racines, feuilles, tiges, etc.) comme la rosée et la transpiration, et en minimisant au maximum les activités vitales de la plante (croissance, reproduction, développement, etc.) tant que les conditions sont défavorables.

La résistance aux hautes températures : elle se fait en formant un film protecteur sur les structures végétales, ce qui protège les cellules contre les pertes en eau. Les moisissures et les bactéries sont les principaux types de microorganismes rencontrés dans ces films.

La résistance aux variations du pH : plusieurs microorganismes présents dans le sol permettent de neutraliser le pH et d'éviter qu'il ne devienne trop alcalin ou trop acide. Ceci par la production de molécules acides ou alcalines respectivement ou par la fixation des minéraux acides ou basiques.

Remarque :

Le pH idéal du sol est 7.

La protection contre le sel : plusieurs germes sont capables d'absorber le sel présent dans leur environnement. De ce fait, quand ils sont dans la rhizosphère, ils protègent les racines des plantes contre les dégâts causées par ce minéral. Certains autres protistes n'absorbent pas le NaOH mais forment plutôt un film filtrant autour des structures végétales afin d'empêcher sa pénétration dans les cellules.

Cette activité est principalement attribuée aux bactéries et non aux mycètes. Car ces derniers sont très sensibles au sel qui inhibe leur germination et leur sporulation.

5. La protection contre les phyto-pathogènes :

Les mycorhizes et les bactéries qui vivent en symbiose avec les plantes ont la capacité de renforcer les défenses naturelles de ces dernières en stimulant la production des métabolites secondaires à activité antimicrobienne, comme les huiles essentielles, les composés phénoliques, les alcaloïdes, etc. Ces métabolites végétaux sont très actifs contre les microorganismes phyto-pathogènes et ont aussi la capacité de repousser les herbivores et les insectes, notamment par les arômes forts dégagés par les plantes et l'astringence causée par certains métabolites, comme les tannins et les alcaloïdes.

Les mycorhizes produisent aussi des mycotoxines et des antibiotiques qui inhibent un grand nombre de microorganismes présents autour de la plante. Ce phénomène est aussi observé chez certaines bactéries productrices de toxines.

Ces microorganismes bénéfiques éliminent les germes phyto-pathogènes par parasitisme, amensalisme ou compétition alimentaire.

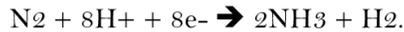
6. L'association « plantes-bactéries fixatrices d'azote » :

Comme nous l'avons signalé auparavant, cette association permet aux plantes de bénéficier de l'azote atmosphérique fixé par les bactéries et assure la nutrition de ces dernières par la matière organique fournie par la plante.

Trois types de ces associations sont connus :

1. Les bactéries formant des nodules au niveau des racines : ces bactéries appartiennent aux genres *Rhizobium* principalement, mais aussi aux genres *Bradyrhizobium* et *Bacillus* (*B. radicola* principalement). Elles pénètrent les racines des légumineuses et se développent dedans donnant naissance à des nodosités caractéristiques (Figure 3).

Ces bactéries fixent l'azote atmosphérique en ammoniac assimilable par la plante hôte avec une enzyme dite « nitrogénase » :



La présence de l'azote en abondance permet un meilleur développement des racines qui et donc une très bonne croissance de la plante.

L'association de la plante avec les bactéries fixatrices d'azote est symbiotique.



Figure 3 : Photo représentant l'aspect des nodules dans les racines des légumineuses (Hassen et al. 2018).

2. Les bactéries fixatrices d'azote mais qui sont libres dans le sol : à la différence de celles citées auparavant, ces bactéries vivent librement dans le sol. Elles fixent l'azote atmosphérique avec la neutrogénase et le libèrent dans le sol où il est absorbé par les racines végétales. Cette association est donc un mutualisme.

Les principales espèces impliquées appartiennent aux genres *Azotobacter*, *Azospirillum* et *Clostridium*.

Ces bactéries ne forment pas de nodosités végétales et ne vivent pas fixées sur les plantes. De ce fait, elles utilisent l'énergie de leur propre métabolisme, ce qui leur confère une croissance et un développement parfois lents. De même que la fixation de l'azote peut s'en trouver ralentie.

Au contraire des bactéries nodultrices qui utilisent la matière organique fournie par les plantes. La fixation de l'azote est alors accélérée car l'énergie devient abondante et la matière organique très diversifiée.

3. Les Cyanobactéries associées aux lichens : ce sont pour la majorité des Actinomycètes, dont le genre *Frankia* est le plus rencontré. Ces bactéries sont associées à des plantes ligneuses dites « actino-rhiziennes » où elles forment des nodules au niveau des racines. Cette association est symbiotique.

La fixation des Actinomycètes sur les plantes commence par la formation d'un mycélium extracellulaire qui se fixe aux poils racinaires. Les hyphes pénètrent ensuite