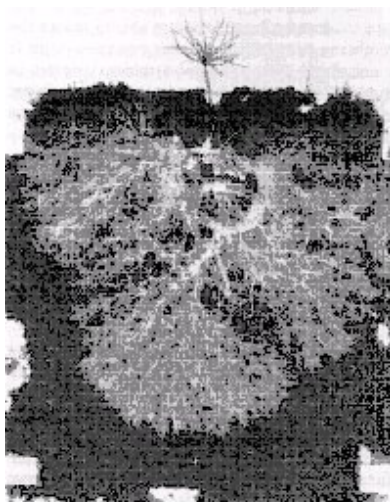


## Les mycorhizes

A la limite entre endo et ectosymbioses de trouvent les mycorhizes. Ce sont des symbioses **plantes / eumycètes** au niveau de la racine qui permettent une meilleure croissance des plantes et des champignons associés. L'association résulte dans une modification morphologique et physiologique de la racine. Dans certains cas, l'association est obligatoire et la plante ne pousse pas sans son champignon. La majorité des espèces de plantes peuvent contracter des associations mycorhiziennes (seules les brassicacées, incluant *Arabidopsis*, et quelques autres plantes ne peuvent former des mycorhizes).



réseau de mycélium d'un mycorhize de germination d'un pin



racine + filaments mycéliens d'un mycorhize

Il existe plusieurs types de mycorhizes en fonction du couple plante/champignon avec deux grandes catégories

- les endomycorhizes où le champignon croît à l'intérieur des cellules de la plante et émet des hyphes à l'extérieur. Cependant, dans les endomycorhizes, le champignon ne pénètre pas la membrane cellulaire (voir ci-dessous). De plus, il ne croît que dans le cortex primaire et l'épithélium des racines. Il n'envahit jamais les tissus vasculaires ou les autres parties de la plante.

- les ectomycorhizes où le champignon n'est jamais intracellulaire et reste à l'extérieur des cellules sous forme d'un réseau particulier (le réseau de Hartig). Il pénètre plus ou moins profondément la racine.

Le champignon permet une meilleure assimilation des nutriments, surtout le phosphate et dans une moindre mesure l'azote, lorsque ceux-ci sont présents de manière insoluble ou à faible concentration. Ceci est réalisé grâce aux extensions des hyphes qui pénètrent loin dans le substrat et aux systèmes de transports actifs efficaces chez les champignons. Les mécanismes qui déclenchent le transfert des nutriments vers la plante ne sont pas encore complètement connus. Celui-ci est assuré par des

systèmes de transport usuel marchant probablement avec des gradients de protons car à l'interface entre le champignon et la plante se trouve des ATP-ase à H<sup>+</sup>. Dans le cas de l'azote fournit par la **glomale** *Glomus intraradices*, celui-ci pénètre sous forme assimilable par le champignon (nitrate, nitrite ammonium...) et se retrouve stocké sous forme d'arginine dans le mycélium extra-racinaire. L'arginine est transférée au mycélium intra-racinaire et est dégradée en ammonium dans cette partie du mycélium. C'est l'ammonium qui est transféré à la plante. On a aussi pu montrer récemment que ces associations protègent aussi les plantes d'attaques par des champignons parasites ou des chocs thermiques. Les plantes semblent aussi mieux résister à la dessiccation et à la pollution des sols. Et donc les mycorhizes ont deux effets : amélioration de l'augmentation de biomasse et accroissement de la biodiversité.

La plante fournit au champignon des sucres (le plus souvent des hexoses) que celui-ci transforme en alcool (mannitol, arabitol etc.). Le champignon présente donc un puits de concentration pour les hexoses qui permet leur diffusion passive vers le champignon. Dans certains cas, il est estimé que les champignons mycorhiziens consomment jusqu'à 40% des produits de la photosynthèse.

Dans certains cas, c'est la présence de racines qui induit la germination des spores du champignon et l'association avec la plante, dans d'autres la plante émet des signaux chimiques qui favorise la croissance du champignon vers ses racines. Il existe maintenant des mutants de plantes qui ne peuvent plus former de mycorhizes (mutant *myc*<sup>-</sup>). Les analyses visant à identifier les gènes mutés sont en cours. Les graines des plantes sont généralement sans partenaire; elles l'acquièrent dans le sol. Ceci est important car dans la nature, il existe différentes souches de champignon qui sont plus ou moins efficaces dans leur association mycorhizienne. La recherche de bons champignons représente évidemment un enjeu important pour l'agriculture de même que l'étude des associations mycorhiziennes déjà présentes dans les sols. Notons que le succès de l'acclimatation de certaines plantes dans de nouveaux milieux peut dépendre de la présence d'un partenaire champignon pour faire des mycorhizes. C'est le cas par exemple du pin.

Ces mycorhizes se sont mises en place de manière récurrente au cours de l'évolution et plusieurs groupes de champignons **eumycètes** sont capables d'en former. Les **glomales** sont les champignons les plus importants. Un seul **coenomycète** (du genre *Endogone*) et divers **basidiomycètes** et **ascomycètes** sont aussi capables de former des mycorhizes. Par contre les **oomycètes** ne forment jamais de mycorhize.

Les champignons qui forment des mycorhizes ont pour certaines espèces des spectres d'hôtes très larges (cas des glomales et du basidiomycète *Piriformospora indica*) et pour d'autres au contraire des spectres d'hôte réduits. Une plante peut être en association mycorhizienne avec plusieurs espèces de champignons. Et réciproquement, cela permet éventuellement le transfert via les champignons de matériels nutritifs et d'informations entre les différentes plantes d'un même lieu. Il existe par exemple des plantes parasites de champignons mycorhiziens qui ne font donc pas vivre au détriment de leurs collègues photosynthétiques !

Notez que dans certains cas, un partenaire bactérien supplémentaire est présent (*Rhizobium* ...) pour former des associations tripartites voire tétrapartites ! Ces associations complexes présentent des avantages pour la plante et sont importantes en agriculture.

Voici plus de détails sur les principaux types de mycorhizes :

- Les endomycorhizes dites vésiculo-arbusculaires sont les mycorhizes les plus importantes. Elles sont faites par les **glomales** avec la majorité des plantes (environ 90% des espèces de plantes supérieures et beaucoup de plantes inférieures):



Bien qu'intracellulaire, l'hyphe ne pénètre pas le cytoplasme de la cellule. il se met en place une zone d'échange:



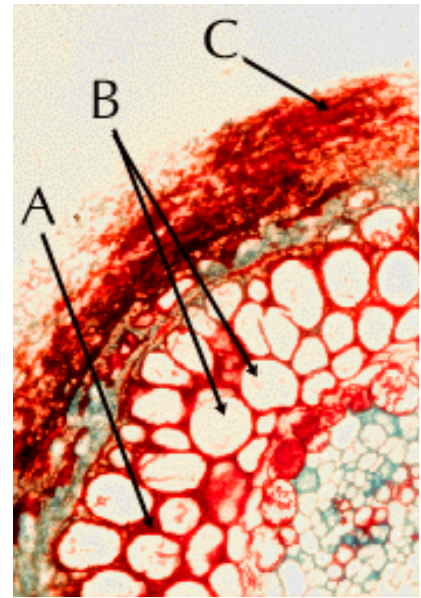
De même seule, la partie corticale de la racine est envahie. L'endoderme racinaire et a fortiori les autres parties de la plante sont indemnes.

- les mycorhizes faites par le basidiomycète *Piriformospora indica* sont très intéressante car elles ressemblent à celles faites par les **glomales** sous de nombreux points de vue. En effet, *Piriformospora indica* forme des endomycorhizes avec des structures intracellulaires très enchevêtrées uniquement dans la zone corticale et n'atteint jamais l'endoderme. Sa propagation passe aussi par la formation de spores plurinucléées. Il aussi un spectre d'hôte très large incluant des monocotylédones et de dictotylédones (incluant les légumineuses mais comme les autres mycorhizes excluant les brassicacées). Ce champignon est un **hyménomycète** que l'on a trouvé en Inde, aux Philippines et en Australie mais que l'on ne trouve pas visiblement en Europe. Son avantage est qu'il est facilement cultivable en milieu axénique et peut donc permettre son étude moléculaire. De même, son large spectre d'hôte et son effet bénéfique sur la santé des plantes font qu'on peut envisager son commence.

- Les ectomycorhizes sont formées sur les racines de certains arbres:



racines de conifères mycorhizées



les hyphes du champignon (en rouge A) entourent les cellules de la racine (B) pour former le réseau de Hartig et entourent la racine pour former le manteau (C)

Les hyphes entourent la racine et forment une structure spéciale, le manteau. Ils pénètrent plus ou moins profondément la racine (réseau de Hartig) mais jamais les cellules.

Les arbres ectomycorhizés représentent seulement 3% des espèces de plantes mais ces arbres sont ceux des forêts des zones boréales, tempérées et tropicales et sont donc des partenaires majeurs dans le cycle global du carbone. Les champignons responsables sont divers: [coenomycètes](#) (endogone), [ascomycètes](#) et surtout des [basidiomycètes](#) (environ 5000 espèces mais ce nombre est à prendre avec beaucoup de circonspection car ces "espèces" sont souvent très polymorphes). Ceux-ci ont souvent un spectre d'hôte restreint. Dans la plupart des cas, le champignon a besoin de cette association pour fructifier. On estime que le champignon permet l'exploration d'un volume de sol 1000 fois plus important que les racines seules. Dans certains cas, la totalité des racines est mycorhizée et donc la totalité des nutriments absorbés par l'arbre passe par les champignons, l'arbre est donc complètement isolé de son support !

- Les ecto-endomycorhizes des orchidées et des Ericacées (dont font partie les azalées et rhododendrons). Les champignons sont le plus souvent asexués ([basidiomycètes](#) ou [ascomycètes](#)), ce qui rend leur détermination difficile et qui contrairement aux [glomales](#) peuvent vivre indépendamment de la plante. Par contre, les orchidées ont besoin du champignon qui leur fournit des acides aminés et des vitamines et éventuellement des sucres (certaines orchidées vivent en parasites sans photosynthèse grâce à ces mycorhizes !). Pour les Ericacées, le champignon permet par exemple à la plante d'utiliser des protéines comme source d'azote (*via* la sécrétion de protéases extracellulaires) ou de résister à la présence de métaux lourds dans le milieu. Les modalités des interactions sont complexes avec l'intervention de morts cellulaires. Dans ce cas, on ne voit pas bien l'avantage pour les champignons et certains considèrent que les plantes sont plutôt des parasites !

Pour en savoir plus consultez <http://mycor.nancy.inra.fr/MycorWebFr.html>

Outre ces associations avec les racines de plantes, les eumycètes sont capables de former des associations symbiotiques avec les parties aérienne ([cliquez-ici](#) pour en savoir plus) ou avec des algues (pour en savoir plus, [cliquez ici](#)).