
Les mycorhizes : de multiples applications en horticulture

Bertrand Delaunois et Jean-Marc Sanchez

Les mycorhizes (*mukes* = champignon ; *rhiza* = racine) sont des champignons microscopiques qui vivent en symbiose avec les plantes. Ils colonisent les racines et développent un réseau de filaments mycéliens connecté au système racinaire. La plante fournit au champignon des sucres provenant de la photosynthèse, la mycorhize transmet à la plante des éléments minéraux et de l'eau : une symbiose naturelle.

Il y a 400 millions d'années, alors que les continents étaient pratiquement déserts, les végétaux et les champignons s'associaient, les uns capables d'utiliser l'énergie solaire pour se développer, les autres permettant la solubilisation et l'absorption des composantes du sol.

Les connaissances concernant les champignons mycorrhiziens ont progressivement été acquises au cours du siècle dernier. En 1883, Gibelli montre l'existence de mycorhizes chez plusieurs espèces (*Castanea*, *Quercus*, *Corylus*...). On découvre alors une catégorie de mycorhizes, les **ectomycorhizes**. En 1887, Franck parle de mycorhizes endotrophes qui possèdent la faculté de réaliser des infections intracellulaires. Ce type de mycorhizes est décrit chez *Fraxinus*, *Acer*, *Pyrus*, *Platanus*, *Juglans* et *Taxus*, ce sont les **endomycorhizes**.

Aujourd'hui, après des décennies de recherche, on considère que les mycorhizes sont très répandues dans la nature et qu'elles concernent **95 % des végétaux**.

Les mycorhizes se séparent en trois groupes principaux :

— **Les ectomycorhizes** (moins de 20 % des espèces végétales). La grande majorité des plantes qui forment des symbioses avec ces dernières sont des arbres (hêtre, pins...), et très peu d'espèces herbacées.

— **Les endomycorhizes** (plus de 80 % des espèces végétales), en général des endomycorhizes à vésicules et arbuscules (VAM). Elles intéressent de nombreuses plantes de grande importance économique. Les légumineuses, par ailleurs bien connues pour leur symbiose fixatrice d'azote, présentent des endomycorhizes. De nombreuses études ont été faites concer-

nant le soja, le trèfle, la luzerne, le pois... Les rosacées ont également fait l'objet de travaux approfondis, les espèces fruitières, les graminées...

— **Les ectendomycorhizes** : plus rares, elles possèdent à la fois des caractères d'endomycorhizes et d'ectomycorhizes.

Les mycorhizes sont formées de fins filaments, les **hyphes**, formant un réseau souvent très étendu appelé **mycélium**. Tout ce réseau est en contact permanent avec les cellules racinaires de l'arbre où se situent les échanges entre le champignon et la plante.

Les hyphes sont formés de cellules allongées qui croissent « bout à bout » formant ainsi des filaments. La plupart des hyphes **sécrètent des enzymes** notamment des phosphatases acides excrétées dans la rhizosphère, qui assurent une hydrolyse des composés organiques phosphorylés, permettant aux végétaux d'absorber une source de phosphore qui ne leur est pas directement accessible. Les éléments nutritifs résultant de cette digestion sont ensuite absorbés par les cellules formant les hyphes.

Certains hyphes se terminent par des structures formant des **spores**, des cellules résistantes au dessèchement qui se détachent du mycélium. Ces spores peuvent donner naissance à un nouveau réseau de filaments, c'est-à-dire à un nouveau mycélium. C'est la forme de conservation naturelle du champignon.

Pourvues d'intenses ramifications, les racines mycorrhisées augmentent les surfaces d'échanges entre la plante et son milieu.

Selon de nombreuses publications, les mycorhizes ont un effet important sur la nutrition phosphatée des plantes, l'eau, certains oligoéléments et, dans une moindre mesure, sur l'azote.

Efficacité agronomique de la mycorhization

Les essais agronomiques de mycorhizes en plein champ ou sous serres sont très nombreux, sur de très nombreuses espèces végétales cultivées (publications

scientifiques importantes). Tous les types de cultures sont concernés : les prairies (graminées, légumineuses), les grandes cultures (blé, orge, avoine, maïs, sorgho), les protéagineux (pois, soja), les oléagineux (tournesol), les cultures légumières de serre et de plein champ (concombre, haricot, oignon, piment, poireau, pois, poivron, pomme de terre, salade, tomate, carotte...), les productions fruitières (pommier, poirier, prunier, cerisier, vigne, abricotier, fraise, framboise, cassis...) et les productions ornementales (*Prunus*, catalpa, géranium, œillet d'inde, vigne-vierge...)

Les plantes non mycorhizables d'intérêt agricole appartiennent essentiellement à deux familles : les chénopodiacées et les cruciféracées, c'est-à-dire le chou, la betterave et le colza (Hirrell et al., 1978).

La symbiose endomycorhizienne est caractérisée par une absence de spécificité du champignon vis-à-vis de la plante hôte. En effet, un champignon isolé à partir de racines d'une plante ou de spores de sa rhizosphère peut facilement être associé non seulement à des espèces appartenant au même genre, mais aussi à d'autres plantes de genre et de famille différentes. Cette particularité est une différence par rapport aux autres symbioses.

Il est important en introduction de mieux cerner les multiples avantages de l'endomycorhize pour mieux comprendre les résultats agronomiques obtenus et mieux cerner les conditions optimales d'utilisation.

Accroissement de l'exploration du sol

Selon Strulu : « Certains réseaux extramatriciels explorent des zones éloignées de plus de 10 cm des racines et transportent effectivement les phosphates sur cette distance. »

Des Glomus peuvent transporter le ^{32}P à plus de 7 cm des racines d'oignon augmentant considérablement le volume de sol prospecté en comparaison des poils absorbants qui ne prospectent qu'à quelques millimètres de la racine (Hatting et al., 1973).

Les mycorhizes permettent donc à la plante d'avoir accès à des nutriments qu'elle ne peut atteindre avec ses seuls poils absorbants.

Amélioration de la nutrition

Le phosphore

L'élément phosphore est peu mobile dans le sol et souvent insoluble. L'absorption du phosphore par les mycorhizes a souvent été démontrée, notamment grâce à un marquage radioactif, l'isotope ^{32}P . Certaines publications mettent en évidence les sites d'absorption du phosphore dans le champignon (Bowen et Theodorou, 1967).

Cette amélioration de l'assimilation du phosphore par les plantes peut être liée à l'activité phosphatase des champignons formant des ectomycorhizes ou endomycorhizes. Les phosphatases acides ainsi excrétées dans la rhizosphère solubilisent le phosphore, augmentant ainsi sa biodisponibilité pour les plantes.

L'azote, les oligoéléments, l'eau

Le processus d'assimilation de l'azote chez les endomycorhizes est moins connu. Des méthodes de marquages radioactifs avec l'isotope ^{15}N ont été utilisées par différents auteurs de publications. Les mycorhizes absorberaient les ions ammonium, et parfois les nitrates via l'action d'enzymes, les nitrates réductases. Il est toutefois évident que les mycorhizes ne fixent pas l'azote atmosphérique. Cependant, les champignons utilisent l'azote pour leur propre croissance et dans une certaine mesure le transfèrent vers la plante.

Il existe différentes publications concernant les oligoéléments. L'effet des endomycorhizes sur les teneurs en manganèse des plantes a été démontré chez le trèfle, le ray-grass et la luzerne. Il existe des publications montrant une concentration plus élevée du cuivre, du fer, du manganèse et du zinc chez la plante mycorhizée (Arines et al., 1989 ; Bowen et al., 1974 ; Gilmore, 1971 ; Lambert et al., 1975 ; Pacovsky, 1986). Certains de ces ions sont, comme le phosphore, peu mobiles dans le sol et ils sont transportés dans les hyphes jusqu'à la racine.

Les mécanismes exacts mis en jeu dans l'absorption de l'eau sont peu connus, mais il a été démontré que les mycorhizes, grâce à l'augmentation du volume de sol prospecté, sont capables de puiser l'eau à quelques centimètres des racines et de la mettre à disposition de la plante.

Vie microbienne et structure du sol

En échange des éléments minéraux et de l'eau, le végétal fournit au champignon des carbohydrates issus de la photosynthèse. Le réseau extramatriciel de la mycorhize formé par les hyphes est aussi source de carbone et contribue donc à un apport au sol permettant d'améliorer l'activité microbienne du sol.

Le rôle important des mycorhizes dans la formation d'agrégats stables du sol est aussi bien documenté (Andrade et al., 1998 ; Bethlenflavay et al., 1999 ; Miller et Jastrow 2000). L'endomycorhize produit de la glomuline, une sorte de colle naturelle, qui est déposée à l'extérieur des hyphes, sur les particules de sols adjacentes, qui améliore à long terme la structure du sol (Wright et Upadhyaya, 1998).

Même si le phosphore est un élément clé, l'effet bénéfique des endomycorhizes ne résulte pas seulement de l'amélioration de l'assimilation du phosphore par la plante. Il n'est donc pas approprié de comparer l'endomycorhize avec un apport en phosphore.

Intérêt de l'inoculation

L'inoculation est définie ici comme toute forme d'apport d'endomycorhize permettant de recréer la symbiose mycorhizienne.

Certains sols sont dépourvus de mycorhizes quand, par exemple, les horizons inférieurs sont ramenés en surface (ex : mine, dépôts volcaniques...) D'autres sols agricoles peuvent contenir une flore mycorhizienne mais qui a été soumise à des bouleversements dus à l'intervention humaine. La population de micro-organismes au sol a souvent été épuisée par les pratiques agricoles qui réduisent le potentiel bénéfique de ces populations sur les plantes cultivées (Jeffries et Barea, 2001).

Pour exemple, il est aujourd'hui démontré que l'augmentation de la teneur en phosphore des sols par les pratiques intensives agricoles peut diminuer significativement la population des endomycorhizes (Smith et Read, 1997).

Les désinfections de sol, les fumigations avant les plantations détruisent aussi la population de mycorhizes. En voulant détruire les pathogènes, on détruit aussi les micro-organismes symbiotiques comme les mycorhizes.

Il a aussi été démontré que le labour peut réduire fortement la population de mycorhizes (Evans et Miller, 1990 ; Mc Gonigle et Miller, 1993).

L'assolement des cultures a aussi un impact non négligeable sur les populations de mycorhizes. Certaines cultures, comme le colza ou la betterave, ne sont pas sujettes à la mycorhization. Leur implantation réduit fortement la présence de ces champignons.

Il est à noter que l'utilisation de fongicides appliqués en foliaire n'a que très peu d'influence sur une mycorhization établie. En revanche, l'effet dû à l'enrobage des semences ou au traitement du sol peut avoir un effet dépressif sur la symbiose mycorhizienne. (tableau 1)

Il existe donc une approche permettant d'établir et de maintenir une forte présence d'endomycorhizes par l'inoculation de souches sélectionnées et adaptées aux conditions réelles de plein champ. Cette approche a été testée à maintes reprises comme énoncé précédemment par des chercheurs et agronomes émanant d'instituts, d'universités ou de sociétés privés (Abbott et Robson, 1982, 1991 ; Menge, 1983, 1984 ; Hall, 1988 ; Gianinazzi et al., 1989a, 1990 ; Millner, 1991 ; Sieverding, 1991 ; Bethlenfalvay et Lindernman, 1992 ; Wood et Cummings, 1992 ; Dodd et Thompson, 1994...)

Toutefois, la sélection d'une souche adaptée d'endomycorhize paraît très importante. La maîtrise de la technologie mycorhizienne exige une connaissance de la biodiversité, des espèces impliquées et de leur efficacité. De nombreuses espèces de mycorhizes peuvent coexister, mais des recherches récentes ont mis en exergue l'espèce utilisée par ITHEC, à savoir **Glomus intraradices**. Cette espèce et notre souche ont été testées à de nombreuses reprises par les chercheurs en laboratoire et en conditions réelles de plein champ. Le *Glomus intraradices*, espèce d'endomycorhize, apparaît comme celle dont les résultats sont les plus convaincants dans beaucoup de conditions pédo-climatiques différentes (large spectre de pH, de climat...).

Pratiques agricoles	Influence positive	Influence négative
Espèces végétales	Espèces mycorhizables	Espèces non mycorhizables
/	Espèces à forte colonisation	/
Terrains nus	Aucune	Réduit la population
Pâturage	Augmente la population	/
Labour-Travail du sol	Semis direct – TCS	Labour conventionnel
/	Minimum de passage	Compaction
Système de fertilisation	Engrais à libération progressive	Apport conséquent de PO ₄ ⁻ et N
/	Phosphore minéral (Rock Phosphate)	/
Désinfection-Fumigation	Aucune	Réduit la population
Fongicides au sol	Effets variables	Effets variables

Tableau 1 : Influences positives ou négatives sur la population des mycorhizes de différentes pratiques agricoles

Présentation de quelques résultats

De nombreux essais ont été réalisés par la société ITHEC-Lallemand Plant Care pour évaluer l'efficacité de la mycorhization sur différentes cultures. Des essais ont ainsi été réalisés sur plantes de grandes cultures et de cultures industrielles, en horticulture et espaces verts, en viticulture, en arboriculture et cultures maraîchères. Ces essais sont menés par ITHEC directement en partenariat avec des centres de recherche agronomique comme l'INRA, des écoles d'Ingénieurs, des laboratoires universitaires ou des prestataires de services qui réalisent des essais en accord avec les Bonnes Pratiques d'Expérimentation (essais BPE). Des essais sont également réalisés par les distributeurs et les agriculteurs.

Essai sur la carotte, réalisé par l'Ecole d'Ingénieur de Purpan (ESAP, Toulouse)

Descriptif de l'essai

- Matériel végétal : Carotte variété « Napoli »
- Dispositif : Blocs Complets Randomisés, 12 répétitions
- Densité : 120 plants / m²
- Substrat : Sol sablo-limoneux
- Traitement : pulvérisation au sol en plein au semis
- Dose : 1,2 kg / ha

Modalités

- T1 = sol non traité
- T2 = sol traité avec MYC 800

Effets observés

	Masse fraîche moyenne (racine + fanes) (g)	Circonférence moyenne au collet (mm)	Profondeur moyenne d'enracinement (cm)
Témoins	102,6	104,2	20,8
MYC 800	113,6	108,4	21,2
Avantage MYC 800	+10,8%	+4%	+2%

Conclusion

On constate que l'apport de MYC 800 à 1,2 kg / ha, en pulvérisation en plein lors du semis, permet d'augmenter de manière hautement significative la masse fraîche de carotte récoltée (+10,8%).



Sur le plant mycorhizé (photo de droite) on observe une cuticule plus verte et plus épaisse, moins de trous d'insectes et l'absence de taches noires.

Essai sur le melon, réalisé par BIOCAMPO (Espagne)

Descriptif de l'essai

- Matériel végétal : Melon
- Dispositif : Caissettes alvéolées, 4 répétitions par modalité
- Traitement : arrosage sur caissettes
- Dose d'inoculation : dose 1 : 0,04 g / alvéole (32 spores / plant), dose 2 : 0,08 g / alvéole (64 spores / plant)

Modalités

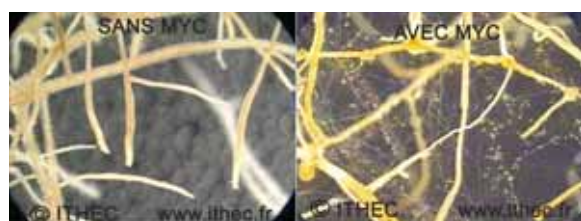
- T1 = plant témoin
- T2 = plant inoculé avec MYC 800 à la dose D1
- T2 = plant inoculé avec MYC 800 à la dose D2

Effets observés

	Nombre moyen de melons par plant	Poids de 20 melons (g)
Témoins	10,3	17 058
MYC 800 D1	14,7	21 380
MYC 800 D2	15	21 112
Avantage MYC 800 D1	+42,7%	+25,3%
Avantage MYC 800 D2	+45,6%	+23,8%

Conclusion

On constate que l'apport de MYC 800, en arrosage sur caissettes alvéolées, permet d'augmenter de manière hautement significative la vigueur des plants de melon, mais également leurs rendements.



À gauche racines non mycorhizées, à droite racines mycorhizées.

On observe les filaments de mycélium qui permettent d'augmenter le volume de sol prospecté par les racines colonisées