

La symbiose mycorhizienne : une association bénéfique entre plantes cultivées et champignons du sol

Par Jean-Pascal Mure (Chambre d'Agriculture de l'Isère)

La plupart des espèces cultivées en agriculture¹ peuvent former au niveau de leurs racines des associations avec des champignons du sol, qu'on appelle des endomycorhizes. Les champignons responsables de cette association sont les champignons mycorhiziens à arbuscules (champignons MA) appartenant à la classe des Zygomycètes². Cette association, décrite à l'origine en 1885, est maintenant reconnue comme étant bénéfique pour les deux partenaires : les champignons prélèvent aux plantes hôtes les substances carbonées dont ils ont besoin pour leur croissance et leur développement ; en échange, ils fournissent aux plantes des éléments nutritifs qu'ils sont capables de prélever dans le sol et de transporter vers les racines. C'est une symbiose mutualiste.

La symbiose mycorhizienne se caractérise par une colonisation intra-racinaire de la plante hôte par le champignon. Celui-ci développe dans la racine des

filaments fongiques, les hyphes, des structures arbusculaires formées par une hyper-ramification des hyphes et selon les espèces, des vésicules (figure

1.4 et photographies 1, 2, 3 et 4). A l'extérieur de la racine, le champignon présente un réseau d'hyphes sur lesquels se trouvent des spores. Les spores, les fragments d'hyphes et les vésicules constituent des propagules capables de germer en émettant des hyphes.

Un mode de colonisation spécifique et dynamique

La mycorhization débute lorsqu'un hyphe émis par la germination d'une propagule de champignon MA entre en contact avec la racine d'une plante. Un appressorium³ se forme à la surface de la racine, puis le filament fongique pénètre entre les cellules de l'épiderme (figure 1.1). Il poursuit sa

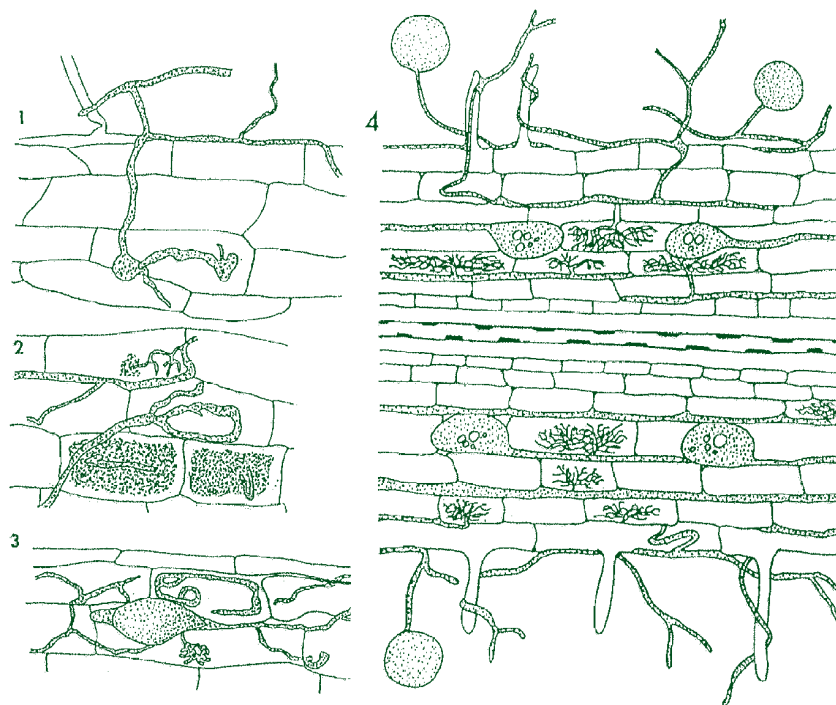


Figure 1-1 à 1-4 - Représentation schématique de la dynamique in vitro de la colonisation racinaire par les champignons mycorhiziens à arbuscules, d'après Strullu D.G.

¹ Plantes maraîchères, céréales, vigne, arbres fruitiers, etc... le colza, les choux et les betteraves font exception, comme toutes les familles des Brassicacées et des Chénopodiacées.

² Zygomycètes : embranchement de mycètes caractérisé par un mode de reproduction spécifique, des parois de chitine et des hyphes non cloisonnés.

³ Appressorium : modification de l'hyphe se produisant lors du contact avec la racine, et qui permet la pénétration de l'hyphe dans la racine.

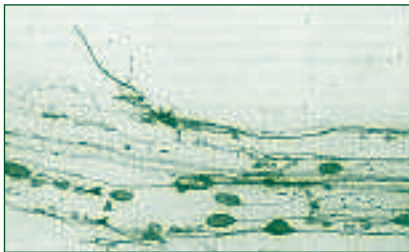


Photo 1 - Hyphes extra et intra-racinaires, vésicules et arbuscules inter et intracellulaires (x 160).

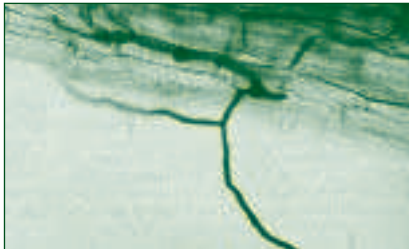


Photo 3 - Arbuscules emplissant presque totalement les cellules hôtes (x 400)

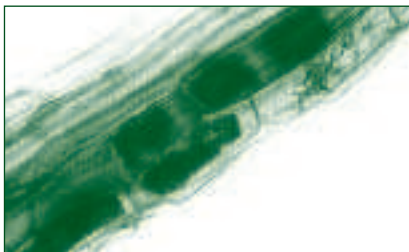


Photo 4 - Spore de champignon mycorrhizien à arbuscule *Glomus etunicatum* (x 400)

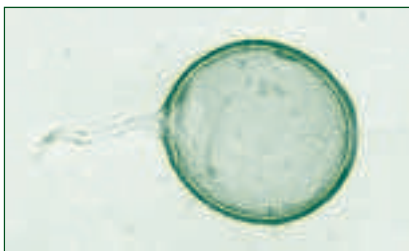


Photo 5 - Spore de champignon mycorrhizien à arbuscule *Glomus mosseae* (x 400).

croissance de façon intercellulaire ou intracellulaire dans le cortex⁴ racinaire, sans coloniser le cylindre central. Les hyphes se différencient pour former à l'intérieur des cellules végétales les arbuscules (figure 1.2), qui constituent les sites d'échanges principaux entre le champignon et son hôte. Certaines espèces produisent des vésicules (figure 1.3), considérées comme des organes de stockage de réserves, notamment sous forme de phospholipides⁵. De façon simultanée, des hyphes extra-racinaires se dévelop-

⁴ Cortex : zone racinaire comprise entre les cellules de l'épiderme et le cylindre central.

⁵ Phospholipides : combinaison entre une molécule de lipide et une molécule de phosphate.

pent dans le sol jusqu'à plusieurs centimètres de la racine colonisée. Un réseau dense de mycelium se constitue, permettant l'exploitation d'un plus grand volume de sol que celui prospecté par le système racinaire de la plante hôte. Ces hyphes extra-racinaires peuvent pénétrer une autre racine de la plante hôte par une infection dite secondaire, ou coloniser une plante voisine, d'espèce identique ou différente. Dans les prairies où plusieurs espèces sont présentes, les plantes peuvent ainsi être reliées entre elles par le réseau mycélien des champignons MA, et échanger les substances nutritives, probablement selon leurs besoins. Par exemple, les légumineuses transfèrent de l'azote fixé à d'autres végétaux.

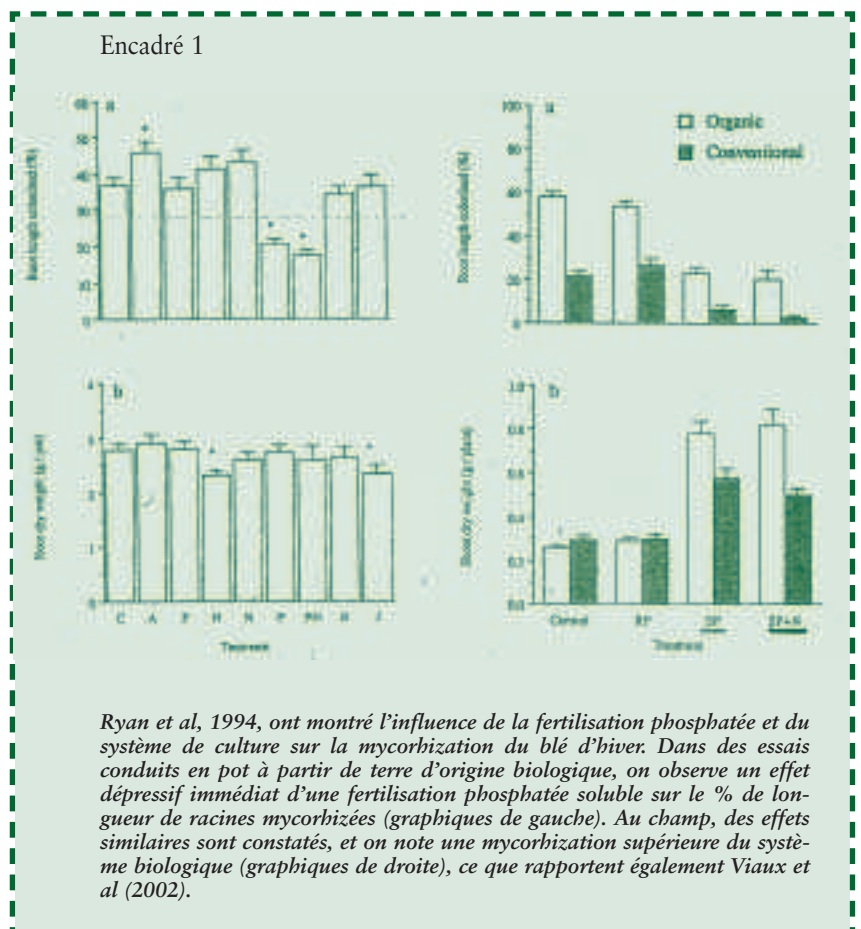
Les champignons MA colonisent une zone située en arrière de l'extrémité des jeunes racines des végétaux. Les échanges avec la plante durent quelques jours, après quoi les arbuscules entrent en sénescence. La mycorrhization des plantes se poursuit ainsi en arrière des extrémités des jeunes

racines sur l'ensemble du système racinaire en croissance. La longueur ou le pourcentage de longueur de racines mycorhizées sont mesurés pour évaluer l'importance de la mycorrhization des plantes.

Les champignons MA, des symbiotes obligatoires

On connaît actuellement 150 espèces de champignons MA, répartis en six genres : *Glomus*, *Sclerocystis*, *Acaulospora*, *Entrophospora*, *Gigaspora* et *Scutellospora*. Dans le sol, on reconnaît les champignons MA à leurs spores. On pense que leur apparition sur terre date du Dévonien, il y a 400 millions d'années environ. Ils auraient joué un rôle important dans la colonisation du milieu terrestre qui s'est produite à cette époque par les végétaux. L'évolution les a conduit à s'associer plus récemment avec les plantes cultivées. Chaque espèce de champignon MA est susceptible de coloniser

les racines de toute plante myco-





trophe,
aucune spécificité d'hôte
n'ayant été observée. Toutefois, l'ef-
ficacité de la symbiose peut dépendre
des caractéristiques du couple cham-
pignon/plante. Pour les champignons,
la symbiose est obligatoire pour per-
mettre leur croissance et leur dévelop-
pement.

Une meilleure croissance des plantes mycorhizées

Pour les plantes, la symbiose est tou-
jours facultative, mais lorsqu'elles
sont mycorhizées, on constate souvent
une stimulation de leur croissance,
fréquemment attribuée à une meilleu-
re nutrition en phosphore. La disponi-
bilité de cet élément, peu soluble et
diffusant lentement dans le sol, dimi-
nue rapidement au voisinage de la
racine suite aux prélèvements, ce qui
peut limiter la croissance des plantes.
Lorsqu'une plante est mycorhizée, ce
risque est réduit car la nutrition phos-
phatée peut être assurée par les
hyphes extra-racinaires des champi-
gnons qui explorent des interstices de
sols non prospectés par les racines. De
plus, les champignons MA présentent
un taux d'absorption très efficace et
la possibilité d'hydrolyser des formes

de
phosphates
insolubles. Après
son absorption, le
phosphore peut être
transféré rapidement à la
plante par les hyphes ou être
stocké dans les vésicules.

De nombreux travaux de recherche
ont montré l'existence d'autres phé-
nomènes permettant d'expliquer une
meilleure croissance des plantes
mycorhizées.

- Une meilleure alimentation de la
plante pour les éléments peu mobiles
dans le sol comme c'est le cas pour le
phosphore, mais aussi pour le
cuivre, le fer, le zinc ou le manganè-
se. Les plantes mycorhizées peuvent
aussi être mieux alimentées en azote.
- Une protection des racines des
plantes contre des maladies ou
contre des attaques par les néma-
todes.
- Une meilleure résistance des plantes
mycorhizées à des conditions de
stress hydrique.

Nombre de mécanismes favorables
agissant sur la croissance et l'état
sanitaire des plantes sont donc le plus
souvent stimulés par la symbiose
mycorhizienne, et agissent probable-

ment
en synergie
dans les champs
cultivés. L'établissement de
la symbiose sur une culture dépend
de l'espèce cultivée, de la variété et de
la capacité du sol à induire la myco-
rhization, ce qu'on appelle le poten-
tiel mycorhizogène du sol. Celui-ci est
déterminé par la densité de propa-
gules de champignons MA, par la
diversité des espèces, et par leur agres-
sivité. Mais ce potentiel s'exprimera
différemment selon les facteurs du
milieu, et il dépend aussi des pra-
tiques culturales.

Une symbiose sous l'influence du milieu et des pratiques culturales

Plusieurs travaux de recherche ont
montré l'influence des facteurs du
milieu sur les populations de champi-
gnons MA et sur le développement de
la symbiose : biodisponibilité du
phosphore, milieux séchants ou
engorgés en eau, pH et types de sols.
Pour le phosphore, des niveaux élevés

de mycorhization ont été observés dans des cas de teneurs faibles ou élevées, mais il semble que l'efficacité de la symbiose soit d'autant plus grande que la concentration en phosphore de la solution du sol est faible et que le pouvoir fixateur du sol est élevé. Le pH semble avoir peu d'effet lorsqu'il est compris entre 5,5 et 7,5 bien que des colonisations racinaires plus importantes aient été observées à un pH de 6,5.

Dans les parcelles agricoles, les pratiques culturales ont modifié les caractéristiques du milieu naturel d'origine et exercé une pression de sélection sur les populations de champignons MA indigènes. Certaines pratiques sont reconnues pour avoir des effets néfastes sur le développement de la mycorhization : successions de cultures incluant des plantes non mycotrophes, monocultures, labours trop profonds qui modifient la répartition spatiale des spores, outils de travail du sol agressifs tels que les herbes animées, fumures minérales phosphatées à partir de formes solubles (voir encadré 1), fumures azotées élevées et certains fongicides notamment systémiques. Au contraire, les successions de culture avec des espèces végétales diversifiées, l'implantation de plantes à forte dépendance mycorhizienne, les amendements organiques compostés, les fumures phosphatées sous forme peu soluble favorisent la symbiose mycorhizienne. Peu d'études au champ ont été conduites, mais on a pu observer de meilleures mycorhizations en système de production biologique (voir encadré 1).

Une ressource biologique à gérer dès aujourd'hui

Les facteurs du milieu, l'histoire culturale des parcelles agricoles, et les pratiques actuelles ont un effet sur la régulation des populations de champignons MA, sur le développement de la symbiose, et sur son efficacité avec les plantes. Il est possible de déterminer le potentiel mycorhizogène des sols et d'observer l'importance du développement de la mycorhization

sur les racines des plantes par des méthodes de laboratoire (voir encadré n° 2), la communauté des champignons mycorhiziens du sol pouvant constituer un indicateur du fonctionnement microbiologique des sols agricoles. Peu d'études de terrain ont encore été réalisées, mais il semble que les niveaux de mycorhization sont généralement très inférieurs à ceux obtenus dans des essais en serre. Outre les méthodes de cultures intensives qui présentent de nombreux effets dépressifs, la sélection variétale et les conditions dans lesquelles celle-ci est menée a pu conduire à développer des cultivars à très faible dépendance mycorhizienne.

Compte tenu du rôle des endomycorhizes sur la nutrition minérale et hydrique des plantes, et sur leur protection vis-à-vis de prédateurs et de maladies des racines, elles constituent une symbiose sans doute essentielle pour la conduite des plantes cultivées dans les systèmes d'agriculture durable. Il conviendrait en conséquence de gérer au mieux cette ressource biologique en favorisant la présence d'une densité d'inoculum suffisante dans les sols et celle d'une large biodiversité des espèces de champignons MA pour permettre la formation de mycorhizes potentiellement efficaces pour les plantes. La connaissance des techniques culturales ayant des effets favorables sur la mycorhization permet déjà de choisir les techniques adaptées en fonction des milieux et des systèmes de production. ■

Bibliographie

- *Chaussod R., 2001 - Caractérisation biologique d'échantillons de sols et applications agronomiques, Alter agri n°45 p.16-21.*
- *Plenchette C. et Fardeau J.C., 1988 - Effet du pouvoir fixateur du sol sur le prélèvement de phosphore du sol par les racines et les mycorhizes, C.R. Acad. Sci. Paris, 306, 201-206.*
- *Plenchette C., 1991 - Utilisation des mycorhizes en agriculture et horticulture, In Les mycorhizes des arbres et des plantes cultivées, Strullu D.G. Perrin R. Plenchette C. Garbaye J. (eds), 131-179.*
- *Ryan M.H., Chilvers G.A. and Dumasq D.C., 1994 - Colonisation of wheat by VA-mycorrhizal was found to be higher on farm managed in an organic manner than on a conventional neigh-*

bour, Plant and Soil n°160,p. 33-40.

- *Smith S.E. and Read D.J., 1997 - Mycorrhizal symbiosis, Academic press.*
- *Viaux P., Parat J. et Blal B., 2002 - Les endomycorhizes, indicateurs de la qualité des sols ? Perspectives agricoles n° 277, p. 50-54.*

Encadré 2

Méthodes de diagnostics sur les mycorhizes

Le diagnostic agronomique sur les mycorhizes peut être mis en oeuvre à partir de deux méthodes complémentaires utilisant la microscopie optique.

- Evaluation de la densité de spores de champignons MA, ce qui permet d'apprécier le potentiel mycorhizogène du sol étudié. Le nombre de spores présentes dans 100 g de sol est évalué par observation directe à partir d'échantillons de sols prélevés dans les parcelles agricoles.

- Estimation des proportions de longueurs de racines mycorhizées ou des longueurs de racines mycorhizées, et de l'évolution du développement de la colonisation intraracinaire au cours de la croissance et du développement des plantes. Ces résultats sont obtenus à partir du prélèvement de racines auxquelles on applique une méthode de coloration spécifique. Le niveau de mycorhization atteint est ainsi estimé.

Assez peu d'études de terrain ont encore été menées, mais quelques résultats peuvent servir de premières références. Les densités de spores obtenues dans divers milieux varient de 50 à 2000 spores / 100 g de sol. Les proportions de longueurs de racines mycorhizées des cultures sont aussi très variables : elles peuvent atteindre des valeurs assez élevées, correspondant par exemple à 60%, voire 90 % de la longueur des racines pour un blé, ou 50 % pour des salades, mais elles peuvent être quasiment nulles.