



Des champignons au service des plantes

Présents à l'état naturel chez la majorité des plantes terrestres, les champignons mycorrhizogènes jouent un rôle majeur dans le développement du végétal et sa résistance vis-à-vis des pathogènes du sol. Mis à mal par l'emploi excessif de pesticides ou d'engrais chimiques, ils sont par ailleurs encore peu exploités en culture.

*par Silvio Gianinazzi et Daniel Wipf**

Apparus il y a plus de 450 millions d'années (bien avant les dinosaures), les champignons mycorrhizogènes (voir encadré) ont très probablement permis aux 1^{res} plantes de coloniser les niches terrestres. Les associations mycorrhiziennes se sont révélées tellement nécessaires et profitables que quasiment tous les végétaux supérieurs qui se sont succédé depuis 300 millions d'années ont conservé ce système symbiotique, et une coévolution entre les partenaires impliqués s'est installée. Il est donc rare de trouver dans la nature une plante non-mycorhizée, y compris parmi les plantes cultivées. Cette association bénéfique pour les 2 partenaires concerne 95 % des plantes terrestres (photo 1). La biodiversité du couvert végétal est intimement liée à la biodiversité microbienne du sol et tout spécialement à celle des champignons mycorrhizogènes.

1 Les mycorbizes, associations bénéfiques entre des champignons et les racines des plantes, concernent 95 % des plantes terrestres. Ainsi, les végétaux herbacés comme les ligneux en profitent.



Des champignons mutualistes associés à des racines

Dans un gramme de sol, on trouve plus d'un million de champignons (en nombre d'organismes) et de 3 à 300 m d'hyphes. Incapables de photosynthèse, les champignons utilisent des matières organiques produites par d'autres groupes d'organismes. Selon le mode de mobilisation du carbone organique, on classe les champignons en 3 groupes : les **saprophytes**, se développant sur des organismes morts plus ou moins décomposés ; les **pathogènes**, se développant aux dépens d'autres organismes ; les **mutualistes**, s'associant durablement à des organismes vivants en développant des structures morphologiques adaptées à un développement à bénéfices mutuels. C'est dans ce dernier groupe que se retrouvent les **champignons mycorrhizogènes**, qui forment une **symbiose** avec les végétaux : la **mycorhize** (du grec mukês = champignon et rhiza = racine).

TROIS PRINCIPALES FORMES DE MYCORRHIZES

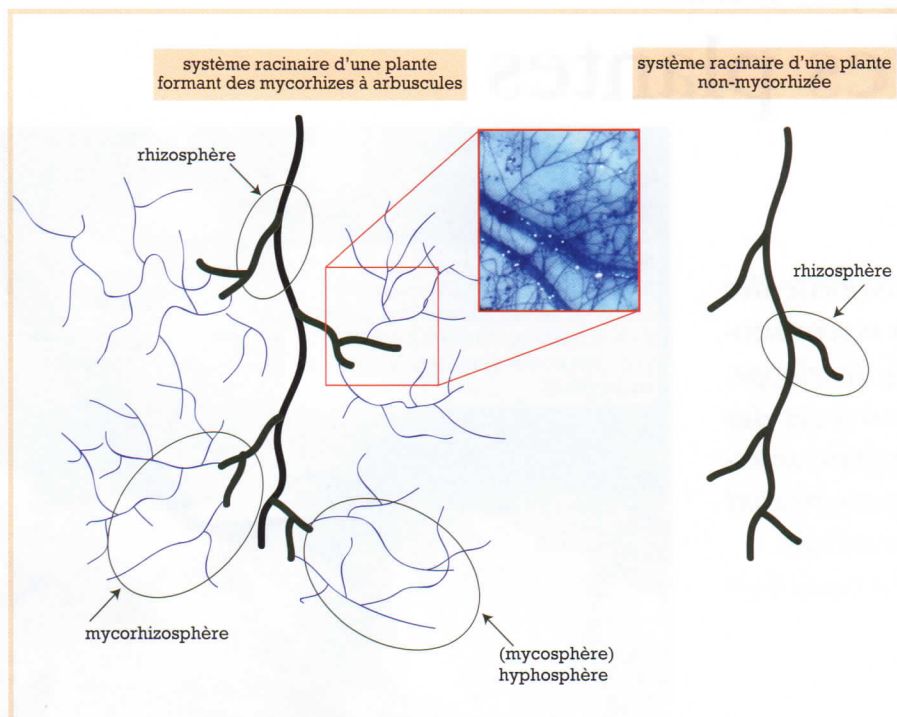
La notion de mycorhize proprement dite a été développée en Allemagne par le botaniste Albert Bernhard Frank en 1885. Il a décrit un concept structural représentant une racine associée à un champignon symbiotique.

On distingue principalement 3 grands types de mycorrhizes, selon des critères morphologiques. Chez les **ectomycorrhizes**, les radicelles sont entourées d'une gaine fongique, le manteau, plus ou moins épaisse et dense. Sous le manteau, des hyphes progressent entre les cellules végétales sans pénétrer celles-ci et forment une structure appelée le réseau de Hartig (du nom du premier mycologue qui l'a décrit). Chez les **endomycor-**

* U.M.R. Inra 1088/C.N.R.S. 5184/Université de Bourgogne "Plante, microbe, environnement", BP 86510, 21065 Dijon cedex, www.dijon.inra.fr/pme, e-mail silvio.gianinazzi@dijon.inra.fr et daniel.wipf@dijon.inra.fr



Figure 1. La mycorrhization induit une plus grande ramification des racines, ce qui, joint au développement des hyphes très fins du champignon, permet à la plante de mieux explorer le sol (photo Armelle Gollotte).



rhizes, les hyphes ne forment pas de manchon autour de la racine, mais franchissent les parois des cellules racinaires et forment à l'intérieur de celles-ci des structures d'échange de nutriments. Chez les **ectendomycorhizes**, le mycélium du réseau de Hartig émet des ramifications qui pénètrent et se développent dans les cellules du parenchyme cortical.

Les endomycorhizes sont observées sur environ 90 % des plantes terrestres, contre 5 % pour les ectomycorhizes (N.B. les champignons formant les ecto-

mycorhizes sont des basidiomycètes, comme la chanterelle, ou des ascomycètes, comme la truffe). Les ectendomycorhizes représentent un pourcentage infime. Enfin, environ 5 % des plantes, telles que le colza et la betterave, ne forment pas de mycorhizes. Parmi les endomycorhizes, la forme la plus répandue est la mycorhize à arbuscules. Elle concerne plus de 80 % des plantes terrestres et la plupart des plantes de culture (agricoles et horticoles), en allant des plantes aromatiques aux arbres fruitiers, en passant par les

céréales. La mycorhize à arbuscules représente ainsi un outil et un potentiel énorme en matière de production végétale respectueuse de l'agro-environnement*. Environ 150 espèces de champignons formant des mycorhizes à arbuscules ont été identifiées à ce jour et toutes appartiennent au phylum** des glomérômycètes.

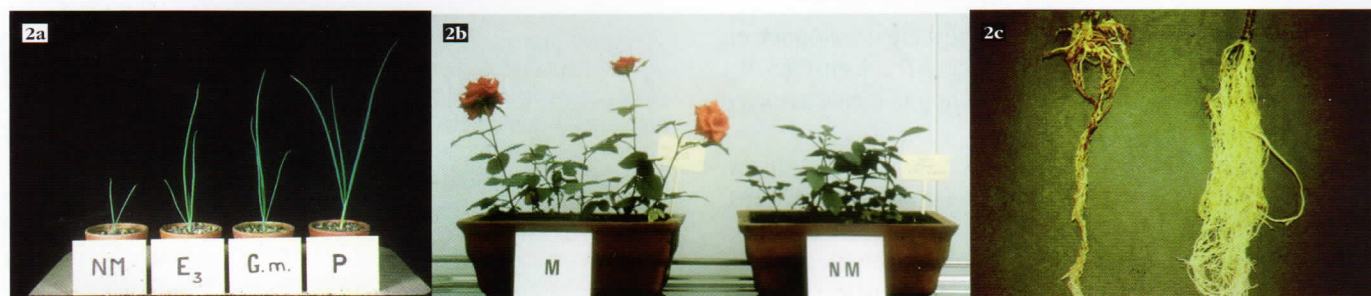
UN RÉSEAU EXPLORATEUR DU SOL AU PROFIT DE LA PLANTE

Au cours de la mycorrhization, les hyphes - qui constituent l'organe principal d'un champignon*** - colonisent les racines d'une plante ; il se crée des structures spécifiques qui permettent le transfert d'eau et de nutriments entre les 2 protagonistes. Les hyphes se présentent comme de **fins filaments, capables d'explorer un volume de sol 1 000 fois supérieur à celui exploré par les racines** (figure 1). Ces filaments pénètrent les interstices du sol les plus fins en quête de l'eau résiduelle et améliorent ainsi la résistance de la plante à la sécheresse, en particulier en conditions extrêmes (zones arides). Les hyphes mobilisent également des sources d'éléments nutritifs du sol auxquels la plante seule n'a pas accès, lui permettant de mieux exploiter les ressources du sol, y compris les engrais apportés à des doses modérées. Les champignons mycorrhiziens jouent ainsi le rôle de **biofertilisants**, en améliorant la nutrition du végétal, notamment en azote (minéral

*voir dans ce numéro "Les mycorhizes : boîte à outils de la production végétale moderne" pp. 12-14.

**lignée évolutive (ensemble de formes vivantes apparentées).

***ce que l'on appelle couramment "champignon" (pied + chapeau), que l'on cueille, n'est qu'un organe éphémère de certains champignons, le carpophore, où se déroule la reproduction sexuée.



▲ **2a, 2b et 2c** L'effet bénéfique des mycorhizes est dû à différents mécanismes.

2 a. Biofertilisation : impact de 2 champignons mycorrhizogènes (E3, G.m.) sur la croissance de l'oignon comparé à une plante non-inoculée (NM) ou ayant reçu du phosphore (P) (photo Vivienne Gianinazzi-Pearson).

2 b. Biorégulation du développement du rosier micropropagé, par la mycorrhization - M = mycorhizé et NM = non-mycorhizé - (photo Alain Trouvelot).

2 c. Bioprotection : racines de plants de tomate, mycorhizées ou non, infectées par *Phytophthora parasitica* (photo Christelle Cordier).



surtout) et en phosphore. En retour, ils bénéficient de la photosynthèse de la plante sous forme de composés carbonés (sucres). Par ailleurs, ils influent sur le développement des plantes (taille et productivité accrues) et la qualité de leurs produits et, à ce titre, agissent comme des **biorégulateurs** (photos 2 a et 2 b).

Bien que l'avantage principal apporté par les mycorhizes soit nutritionnel, des

effets non-nutritionnels sont également observés. Les champignons mycorrhizogènes se comportent ainsi en **bioprotecteurs** en renforçant les défenses naturelles de la plante contre les bactéries et champignons phytopathogènes, en augmentant la tolérance des végétaux aux métaux lourds et parfois au calcaire (plantes calcifuges)... (photo 2 c).

En outre, le réseau mycélien favorise une meilleure rétention des agrégats et une

stabilisation de la structure du sol, permettant de prolonger la qualité du sol.

LA MYCORHIZE : UNE UNION FERTILE EN DANGER

Les champignons mycorrhizogènes, si bénéfiques, sont menacés par les pesticides et les engrais chimiques de synthèse qui tendent à les faire disparaître de nos sols agricoles. Beaucoup de pratiques agricoles courantes (utilisation excessive d'engrais, sols laissés nus, fongicides...) ont un impact négatif sur le nombre et les types d'associations mycorrhiziennes. Différentes mesures sont d'ores et déjà possibles pour respecter, voire favoriser cette association symbiotique* (inoculation, itinéraires de culture adaptés...), dont l'utilisation optimisée représente un des enjeux majeurs pour limiter les intrants chimiques en production végétale, tout en préservant la productivité. ■

*voir dans ce numéro "Les mycorhizes : boîte à outils de la production végétale moderne" pp. 12-14.

Pour l'orchidée, une question de survie...

Certaines associations mycorrhiziennes mettent en jeu des mécanismes très spécifiques. Par exemple, pour germer puis développer des racines, la graine d'orchidée - qui ne contient aucune réserve nutritive - s'associe avec un champignon mycorrhizogène qui lui procure les éléments carbonés dont elle a besoin. Le champignon qui

pénètre la graine ne doit pas infecter tout l'embryon, sous peine de le tuer. Mais des fongicides présents dans la graine limitent l'infection à une partie de l'embryon, l'autre se développant en puisant ses ressources dans le champignon. Cette symbiose peut se limiter à la germination ou durer toute la vie de l'orchidée.