

# La biotechnologie des mycorhizes à arbuscules en horticulture

Silvio Gianinazzi (silvio.gianinazzi@dijon.inra.fr)  
Pôle IPM, ERL CNRS 6300, UMR 1347 Agroécologie  
Inra/AgroSup/uB  
Inra, 17 rue Sully, BP 86510, 21065 Dijon Cedex

Les mycorhizes à arbuscules (MA) ou endomycorhizes arbusculaires présentent par rapport aux autres types de mycorhizes des caractéristiques particulières : elles sont ubiquistes, et les champignons impliqués sont des biotrophes obligatoires, capables de coloniser un nombre très élevé d'espèces végétales, notamment la très grande majorité des plantes horticoles. Environ 150 espèces de champignons formant les MA ont été identifiées à ce jour et toutes appartiennent au phylum des glomérromycètes.

Au cours du processus de mycorhization, les hyphes du champignon mycorhizogène (MA) colonisent les racines des plantes et forment en son sein des structures spécifiques (arbuscules) qui permettent le transfert d'eau et de nutriments du sol à la plante. 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. Ces filaments pénètrent les interstices du sol les plus fins, en quête de l'eau résiduelle et des sources d'éléments nutritifs du sol, y compris les engrais apportés à des doses modérées auxquels la plante seule n'a pas accès. En améliorant la nutrition du végétal, notamment en phosphore, les champignons MA jouent le rôle de **biofertilisants**. Sachant que les ressources en phosphates minéraux se raréfient (Van Vuuren *et al.*, 2010), la maîtrise de la fertilisation devient une priorité dans une stratégie de gestion durable. La colonisation des racines par les champignons MA influe sur la croissance et le rendement des plantes (taille et productivité accrues), mais aussi leur développement (architecture des racines plus dichotomisée et floraison plus abondante) et, à ce titre, ces symbiotes fongiques agissent comme des **biorégulateurs**. En retour, les champignons MA bénéficient de la photosynthèse de la plante sous forme de composés carbonés (sucres). Bien que l'avantage principal apporté par les mycorhizes soit nutritionnel, des effets non nutritionnels sont également observés. Les champignons MA se comportent ainsi en **bioprotecteurs** en renforçant les défenses naturelles de la plante contre les bactéries et champignons phytopathogènes, et en augmentant la tolérance des végétaux à différents stress abiotiques (métaux lourds, sécheresse).

Comme pour l'amélioration de la nutrition minérale, le renforcement par la mycorhization de la robustesse des plantes place les symbioses MA au centre d'une stratégie de réduction des intrants chimiques. Au-delà de ces effets bénéfiques sur le développement et la santé des plantes, le réseau mycélien extra-radicalaire qui se développe dans le sol favorise la rétention de ses agrégats, en stabilisant ainsi sa structure et sa qualité : de ce fait, les

mycorhizes MA peuvent aussi être considérées comme des **biostabilisants**. Pour l'ensemble de leurs actions bénéfiques, notamment sur le développement des végétaux et leur colonisation des différents écosystèmes, les champignons MA ont joué, et jouent, un rôle crucial dans les services écologiques ou écosystémiques fournis par la nature à l'homme (Jeffries *et al.*, 2003; Gianinazzi *et al.*, 2011).

Malgré leurs rôles bénéfiques, les mycorhizes MA ne sont pas ou peu considérées en production végétale ; elles sont même menacées de disparition par l'utilisation de variétés de plus en plus sélectionnées pour leur réponse aux engrais et leur résistance aux pesticides, et plus largement par un accroissement de l'artificialisation des systèmes intensifs de production (monoculture, réduction et simplification des rotations, utilisation excessive d'engrais et de fongicides, production hors-sol).

La recherche a pourtant démontré depuis plusieurs années l'intérêt qu'il y aurait, notamment pour les productions horticoles et maraîchères hors-sol, à utiliser les champignons MA pour la réduction d'intrants chimiques de synthèse, à condition d'adopter des régimes nutritifs et des itinéraires phytosanitaires compatibles avec le développement et l'expression bénéfique des symbioses mycorhiziennes. Plus récemment, le développement de telles pratiques éco-compatibles a mis en évidence leur contribution aussi à l'amélioration de la qualité de la production primaire, *via* l'enrichissement en composés "santé" et gustatifs, tels que les molécules soufrées (oignon), les caroténoïdes (patate douce), les huiles essentielles (basilic) ou les oligoéléments (laitue) (Copetta *et al.*, 2006 ; Farmer *et al.*, 2007; Gianinazzi *et al.*, 2008 ; Baslam *et al.*, 2011).

Au vu de ces acquis et dans la perspective de développer des systèmes de production végétale éco-compatibles, il est nécessaire de faire évoluer les systèmes actuels afin de pouvoir tirer profit, notamment en horticulture, de ces outils biologiques que sont les champignons MA (Gianinazzi *et al.*, 2003 ; Gianinazzi et Wipf, 2010 ; Wipf et Gianinazzi, 2010). Dans cette perspective, trois développements majeurs sont à considérer : (i) la production d'inocula mycorhizogènes, (ii) les modalités d'inoculation et (iii) le management des mycorhizes MA en production végétale.

## **La production d'inocula mycorhizogènes**

Au vu de la biotrophie obligatoire des champignons MA, la production d'inocula doit se faire sur des supports vivants, et non inertes comme habituellement pratiqué pour d'autres microbes utilisés en production végétale ; ce mode particulier de production conditionne le choix des souches à multiplier, mais surtout la formulation des produits MA et leur mode d'inoculation. Traditionnellement, la production commerciale d'inocula est réalisée en serre dans des containers sur plante entière, plus rarement elle s'effectue à l'aide de cultures *in vitro* de racines transformées, mais celle-ci reste limitée à une seule souche de champignon MA. L'extension de ce mode de production à d'autres souches d'intérêt agronomique devrait permettre de nouveaux développements technologiques dans la fabrication des inocula mycorhizogènes commerciaux. Malgré ces difficultés, une industrie des produits MA se développe dans plusieurs

pays européens, mais surtout en Amérique et en Asie (Gianinazzi et Vosatka, 2004). Son succès sera déterminant pour une évolution durable des systèmes de production en horticulture.

### **Les modalités d'inoculation**

Les inocula peuvent être apportés de diverses façons : le plus souvent, ils sont introduits en les mélangeant aux substrats de culture ou à la couche superficielle du sol. Les effets généralement observés sont une meilleure reprise et un développement végétatif plus robuste. D'autres modes d'inoculation peuvent être pratiqués, comme le pralinage des racines et l'injection au pied des arbres. De nouvelles technologies sont aussi en développement, comme l'enrobage de graines avec des spores de champignons MA, ou leur distribution via les circuits d'arrosage. Leur réussite devrait fortement favoriser l'essor de l'utilisation des champignons MA en production végétale.

### **Le management des mycorhizes en production**

L'utilisation appropriée de cette biotechnologie qu'est la mycorhization dirigée nécessite, d'une part, de revoir le mode de fertilisation et les traitements phytosanitaires et, d'autre part, de disposer de marqueurs non destructifs permettant à la fois d'évaluer le statut mycorhizien d'une culture donnée et le monitoring de l'inoculum utilisé. Dans ce contexte, à l'instar des techniques utilisées en médecine légale, des sondes moléculaires appropriées à l'identification et à l'évaluation quantitative dans les substrats, les sols et les racines des champignons MA sont en développement (Farmer *et al.*, 2007 ; Binet *et al.*, 2011), ce qui rend désormais possible le suivi d'inocula au cours du cycle de production. Des kits de détection, faciles d'utilisation, devraient bientôt voir le jour.

Le succès des travaux de recherche que ces voies sous-tendent est déterminant pour mieux ancrer la biotechnologie des MA, notamment en horticulture, et ainsi permettre le développement de systèmes de productions éco-compatibles. Toutefois, l'obtention rapide de résultats tangibles nécessite des efforts plus sélectifs de la recherche et une inévitable coopération avec les entreprises innovantes du secteur.

### **Références**

- Baslam M., Pascual I., Sanchez-Díaz M., Erro J., García-Mina JM. et Goicoechea N., 2011.

Improvement of nutritional quality of greenhouse-grown lettuce by arbuscular mycorrhizal fungi is conditioned by the source of phosphorus nutrition. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, 59, 11129-11140.

- Binet MN., van Tuinen D., Deprêtre N., Koszela N., Chambon C. et Gianinazzi S., 2011. Arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Artemisia umbelliformis* Lam, an endangered aromatic species in Southern French Alps, influence plant P and essential oil contents. **Mycorrhiza**, 21, 523-35.

- Copetta A., Lingua G. et Berta G., 2006. Effects of three AM fungi on growth, distribution of glandular hairs, and essential oil production in *Ocimum basilicum* L. var. *Genovese*. **Mycorrhiza**, 16, 485-494.
- Gianinazzi S., et Vosatka M., 2004. Inoculum of arbuscular mycorrhizal fungi for production systems: science meets business. **Canadian Journal of Botany**, 82, 1264-1271.
- Gianinazzi S. et Wipf D., 2010. Des champignons au service des plantes. **PHM-Revue Horticole**, 521, 9-11.
- Gianinazzi S., Gollotte A., Binet MN., van Tuinen D., Redecker D. et Wipf D., 2010. Agroecology: the key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services. **Mycorrhiza**, 20, 519-530.
- Farmer MJ., Li X., Feng G., Zhao B., Chatagnier O., Gianinazzi S., Gianinazzi-Pearson V. et van Tuinen D., 2007. Molecular monitoring of field-inoculated AMF to evaluate persistence in sweet potato crops in China. **Applied Soil Ecology**, 35, 599-609.
- Gianinazzi S., Huchette O. et Gianinazzi-Pearson V., 2008. New outlooks in mycorrhiza application. Dans: Baar J. *et al.* (éds), Proceedings of COST870 meeting "**Mycorrhiza application in sustainable agriculture and natural systems**", 17-19 September, Thessaloniki, Greece. pp 20-22.
- Jeffries P., Gianinazzi S., Perotto S., Turnau K. et Barea JM., 2003. The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. **Biology and Fertility of Soils**, 37, 1-16.
- Gianinazzi S., Oubaha L., Chahbandar M., Blal B. et Lemoine M.C., 2003. Biotization of microplants for improved performance. Dans: Hammerschlag FA, Saxena P. (éds), Proceedings of the XXVI International Horticultural Congress "**Biotechnology in Horticultural crop Improvement: achievement, opportunities and limitations**", **ISHS, Acta Horticulturae**, Belgium, 625, 165-172.
- Van Vuuren DP., Bouwman AF. et Beusen AHW., 2010. Phosphorus demand for the 1970-2100 period: a scenario analysis of resource depletion. **Global Environmental Change**, 20, 428-439.
- Wipf D. et Gianinazzi S., 2010. Les mycorhizes: boîte à outils de la production végétale moderne. **PHM-Revue Horticole**, 521, 12-14.