

# AGRO PERSPECTIVES

Diffusion des techniques innovantes en agriculture

## Les mycorhizes : des champignons prometteurs pour l'agriculture !



Les mycorhizes sont formées par des champignons microscopiques qui travaillent en symbiose (bénéfice mutuel) avec les racines de la plante : la plante alimente le champignon en composés carbonés (glucides, acides aminés et vitamines) tandis que ce dernier approvisionne la plante en eau et éléments minéraux. Les recherches conduites au cours des 50 dernières années ont permis une meilleure compréhension de ces relations. Cela se traduit aujourd'hui par des concepts et des technologies nouvelles qui permettent d'envisager une nouvelle façon de cultiver axée sur une maximisation de cette relation champignon-plante. Est-ce du domaine de la science-fiction ou au contraire l'amorce d'une nouvelle révolution verte ?

### Des effets remarquables à tous les niveaux...

- **Une meilleure absorption des éléments minéraux en particulier des éléments peu mobiles du sol.**

Cette efficacité accrue des plantes mycorhizées à absorber les éléments nutritifs du sol vient tout d'abord de l'augmentation de la surface de contact entre le mycélium fongique et la solution du sol. Pour avoir un ordre de grandeur, sous 1 m<sup>2</sup> de sol de prairie, la surface racinaire représente environ 1 m<sup>2</sup>, alors que celle du mycélium peut atteindre 90m<sup>2</sup>. La plante n'a plus à faire croître ses racines pour aller chercher loin les éléments peu mobiles comme le phosphore ou le zinc, c'est le champignon qui s'en charge à sa place. Cela lui permet d'utiliser le maximum d'énergie à la fabrication de ses parties aériennes et à sa reproduction, sans compromettre sa nutrition.

Le mycélium intervient également dans la décomposition de la matière organique, seul ou en association avec les microorganismes du sol, donnant accès à des éléments minéraux emprisonnés dans les résidus végétaux ou animaux. Certains champignons arrivent à dégrader la roche et à libérer du potassium ou du phosphore.

- **Une meilleure résistance à la sécheresse.**

L'augmentation de surfaces de contact entre le champignon et le sol conduit également à une meilleure absorption de l'eau. Les plantes mycorhizées résistent donc beaucoup plus longtemps à la sécheresse. Cela s'explique par la capacité dont dispose le fin mycélium à aller puiser l'eau dans les petits interstices et agrégats du sol non accessibles aux racines. D'autres mécanismes indirects existent comme le contrôle par le champignon de la régulation des stomates, prévenant un flétrissement irréversible de la plante ou l'ajustement osmotique de la plante.

- **Une amélioration de la fertilité et de la structure du sol.**

Le mycélium sécrète une glycoprotéine, la glomaline, qui contribue directement au pool de matière organique stable car elle se décompose difficilement. Il semblerait même qu'elle soit plus abondante dans le sol que l'humus et qu'elle représenterait le tiers du carbone séquestré dans les sols. Les mycéliums morts participent aussi au pool organique, la durée de vie moyenne d'un mycélium étant

d'environ une semaine. La glomaline joue également un rôle important dans la stabilité structurale des sols. En effet, elle agit comme une colle qui assemble les particules les plus fines du sol pour en faire des agrégats. Ces derniers sont fondamentaux pour la rétention d'eau et d'éléments minéraux et l'aération du sol.

- **Une participation active dans la protection de la plante contre les organismes pathogènes.**

Les champignons mycorhiziens peuvent intervenir pour protéger les racines contre les champignons pathogènes. Tout d'abord, en améliorant la nutrition, ils confèrent une meilleure vigueur à la plante qui peut mieux résister aux maladies. Ensuite, ils rentrent en compétition avec les pathogènes à la fois pour les composés énergétiques mais également pour la disponibilité en sites d'infection.

De plus, certains de ces champignons déclenchent des mécanismes de défense chez la plante, tout en demeurant immunes à leur activité. La plante mycorhizée se maintient alors dans un état de défense qui limite le développement des organismes pathogènes. On peut également observer une augmentation du taux de lignification des parois cellulaires et un dépôt de callose qui constitue une barrière de protection physique contre la pénétration de parasites. Enfin, les mycorhizes peuvent stimuler l'exsudation d'antibiotiques par les racines ou les bactéries du sol, ou sécréter directement des inhibiteurs de développement de certains microorganismes du sol.

- **Une meilleure résistance aux stress environnementaux.**

Les arbres ectomycorhiziens de la forêt boréale vivent sur des sols acides avec des valeurs de pH pouvant aller jusqu'à 3. Sans la présence de mycorhizes, les racines seraient incapables de s'y développer. A ces niveaux de pH, l'aluminium, le fer et le manganèse deviennent toxiques pour la plante. Les mycorhizes séquestrent ces métaux et protègent les racines. A l'inverse, dans des sols très calcaires, le fer devient insoluble et inaccessible aux racines, entraînant une diminution de la photosynthèse. En sécrétant des acides organiques, les mycorhizes modifient localement le pH autour des racines, solubilisant le fer.

Offrant une meilleure résistance à la sécheresse, certaines mycorhizes permettent aux plantes de coloniser les déserts. Il existe également des mycorhizes qui confèrent aux plantes la capacité de supporter des sols dont la température peut atteindre 40°C. Enfin, des champignons préviennent l'herbivorie par certains insectes en induisant des modifications biochimiques dans la plante, la rendant répulsive pour ces insectes brouteurs.

En résumé, la présence de mycorhizes modifie plusieurs aspects de la physiologie de la plante hôte. Ce sont ces différents avantages qui ont permis l'installation, la conservation et la diversification de ces associations symbiotiques au cours de l'évolution.

Il semble évident que la mycorhization a beaucoup à apporter à l'agriculture. Toutefois, ce sont des associations fragiles : nos pratiques agricoles actuelles permettent-elles de profiter de tous ces avantages ?

### ... Mais des pratiques agricoles actuelles défavorables à la mycorhization :

*2 notions clés*

**Dépendance mycorhizienne des plantes**

**Potentiel mycorhizogène du sol = capacité du sol à mycorhizer les plantes**

- **Les pratiques liées aux plantes.**

Les programmes de sélection cherchent à améliorer les espèces cultivées pour un meilleur rendement ou une meilleure résistance aux pathogènes. Or, ces programmes se déroulent dans des conditions de fertilisation élevées, peu propices au développement de mycorhizes. De ce fait, les chercheurs ont inexorablement sélectionné des génotypes moins, voire pas du tout mycotrophes. Les variétés modernes de blé et de tomate ont ainsi une dépendance mycorhizienne moindre par rapport à leurs ancêtres. Par ailleurs, en

recherchant des variétés plus résistantes aux maladies, particulièrement celles dues aux champignons, elles deviennent moins réceptives aux champignons mycorhiziens.

A cela, s'ajoute l'enrobage des semences avec des fongicides qui s'avère souvent néfaste pour les mycorhizes. A noter que certains fongicides comme les fosétyl-Al, métataxy, promocarb préservent et parfois stimulent la mycorhization.

- **Les pratiques liées au sol.**

Le travail du sol modifie la distribution des champignons mycorhiziens dans le sol. Le labour enfouit les spores en profondeur, les mettant hors d'atteinte pour les plantes à enracinement superficiel. Le travail du sol avec des herbes trainantes détruit le réseau mycélien laissé par la culture précédente. A l'inverse, les herbes rotatives, en pulvérisant le sol et les racines, augmentent le nombre de propagules.

La fertilisation est sans conteste la pratique agricole qui influe le plus, voire peut rendre impossible la mycorhization. L'abondance des champignons mycorhiziens est étroitement liée à la fertilité phosphorique du sol. En effet, la colonisation des racines, le potentiel mycorhizogène du sol et la dépendance mycorhizienne des plantes sont inversement corrélés à la teneur de la solution du sol en ions phosphate. Une plante bien nourrie ne favorise plus le développement des mycorhizes. C'est notamment le cas dans les sols qui reçoivent régulièrement des effluents d'élevage ou une fertilisation minérale phosphatée importante. Par contre, dans les pays en voie de développement, l'utilisation d'engrais chimique est très souvent économiquement impossible, les sols sont donc pauvres en phosphore et les mycorhizes peuvent y jouer pleinement leur rôle.

Enfin, les produits phytosanitaires (herbicides, fongicides, régulateurs de croissance et agents de désinfection des sols) sont défavorables aux champignons mycorhiziens, entraînant souvent leur élimination totale.

## **L'agriculture durable sur des bases scientifiques modernes : contribution des mycorhizes.**

La première révolution verte s'est fondée en grande partie sur l'amélioration génétique. Toutefois, cette dernière s'est réalisée sous des conditions ignorant totalement l'existence des mycorhizes. De plus, les recommandations de fertilisation ne font aucune distinction entre plantes mycorhizées ou non. Enfin, l'homologation des produits phytosanitaires n'intègre pas de démonstration d'innocuité vis-à-vis de ces champignons. La deuxième révolution pourrait passer par une utilisation optimisée de la relation symbiote entre champignon et plante.

- **Repenser les pratiques agricoles à la lumière des connaissances actuelles sur les mycorhizes.**

Le principal frein à l'utilisation réside dans la fertilisation élevée des sols. En effet, pour les sols abondamment fertilisés ne possédant pas de résilience pour leur teneur en phosphore, l'utilisation de mycorhizes sera difficile à moyen terme. En France, les nouvelles contraintes de réduction de l'utilisation des intrants chimiques peuvent relancer l'intérêt pour les mycorhizes.

Tout d'abord, malgré une très importante diminution des ventes d'engrais phosphatés depuis une quinzaine d'années, le phosphore est de plus en plus incriminé pour son rôle dans la pollution des eaux. De plus, contrairement à l'azote, les ressources en phosphore ne sont pas renouvelables. Cela va conduire inexorablement à une diminution des apports phosphatés. Il pourrait être intéressant d'avoir une distinction entre plantes mycorhizée et non mycorhizée dans les grilles de fertilisation P et K.

Par ailleurs, avec l'objectif Ecophyto2018, on va assister à un remaniement des systèmes de cultures où la lutte chimique diminuera au profit d'une lutte mécanique et biologique. Cette évolution est plutôt favorable au maintien du potentiel mycorhizogène des sols.

A cela, s'ajoute le développement des techniques culturales simplifiées et la diversification des rotations avec une minimisation des plantes non mycotrophes. Pour un même inoculum, la mycorhization est plus élevée chez une culture de légumineuses (soja, pois, haricot, trèfle) que chez une culture de céréales (blé, avoine, orge, maïs), et pas du tout évident chez une culture de chénopodiacées (betterave, épinard) ou de crucifères (choux, colza, moutarde, navet). Enfin, la couverture hivernale des sols devient un relai pour la mycorhization, permettant ainsi de maintenir le potentiel mycorhizogène du sol.

▪ **2 approches pour développer les champignons mycorhiziens dans les champs cultivés :**

<b>Approche technologique</b>	<b>Approche agroécologique</b>
<i>Principe</i> : inoculer des souches de champignons sélectionnées performantes	<i>Principe</i> : favoriser les souches indigènes de champignons
2 entreprises (Canada et Inde) qui produisent des spores, mycélium et racines colonisées massivement Inoculums vendus sous forme de suspensions de spores en milieu liquide, en gel semi-liquide, en poudre mouillable, sous forme granulaire ou tout simplement incorporés dans un substrat de culture artificiel à base de tourbe	Avantage : Souches adaptées au milieu Augmentation et stabilisation du potentiel mycorhizogène naturel du sol grâce à des pratiques culturales appropriées : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Contrôle strict de la fertilisation PK et des applications de pesticides</li> <li>- Rotations minimisant les plantes non mycotrophes</li> <li>- Réduction du travail du sol</li> <li>- Utilisation de plantes intermédiaires</li> </ul>
<i>Quelques chiffres</i> : Canada : quelques dizaines de milliers d'ha de blé, lentille et soja (2008) Inde : plus de 10 000 agriculteurs utilisateurs	

**Des nombreux avantages hors agricoles :**

▪ **En foresterie : la production de champignons et le reboisement de zones difficiles.**

La plupart des arbres sont associés à des champignons dont on connaît très bien la partie visible de cette symbiose grâce aux champignons forestiers. Comme il n'est pas possible de cultiver ces champignons sans leur hôte, il faut produire et planter des arbres porteurs des espèces que l'on souhaite récolter. C'est le cas par exemple en France, avec la production de plants de noisetiers ou de chênes porteurs de mycorhizes de la truffe. Ces champignons sont à la base d'un marché mondial représentant annuellement environ 2,5 milliards de dollars. Indépendamment de l'aspect économique, ils font partie de la chaîne alimentaire de nombreux animaux (rongeurs, sangliers, cervidés...).

Les mycorhizes peuvent également servir au reboisement de zones difficiles. Comme évoqué précédemment, certaines espèces permettent aux arbres de se développer en climat aride. C'est le cas de l'acacia tordu, espèce ligneuse du Sahara, qui ne peut vivre qu'avec des mycorhizes, ou d'espèces de pisolithe qui sont capables de tolérer des températures élevées (38°C) et de conférer cette faculté à des pins ou eucalyptus. Elles contribuent également à l'implantation d'arbres en sols calcaires. A titre d'exemple, le pin d'Alep pousse sur des sols dans le pH est supérieur à 7.

▪ **La séquestration du carbone dans le sol.**

La biomasse mycélienne des champignons mycorhiziens est une composante importante du carbone présent dans les sols. On a longtemps considéré que les acides humiques constituaient la majeure partie de la matière organique des sols agricoles. On estime maintenant que la glomaline sécrétée

par les mycorhizes est toute aussi importante, puisqu'elle représente le tiers du carbone séquestré dans les sols de la planète.

- **La détoxification des sols.**

Les mycorhizes peuvent servir à « nettoyer » des sols rendus toxiques par la présence d'éléments minéraux comme les métaux lourds, ou des résidus organiques comme les dérivés du pétrole. Ces champignons permettent aux plantes de tolérer de fortes teneurs en éléments toxiques. Ils sont alors utilisés pour absorber ces éléments qui seront concentrés dans les parties aériennes de la plante. On peut alors récolter périodiquement ces plantes et les brûler dans des enceintes appropriées. Le sol sera ainsi petit à petit réhabilité. Cela évite également de laisser ces sols nus.

- **La prévention de la prolifération des algues dans les lacs.**

L'installation et le maintien de plantes bien mycorhizées autour des lacs peut permettre, grâce à une interception plus forte du phosphore par rapport à des plantes non mycorhizées, de limiter la prolifération de certaines algues et donc, à terme, l'eutrophisation de ces lacs.

Parler d'une nouvelle révolution verte est un peu audacieux mais force est de constater que la mycorhization peut être une piste prometteuse. C'est un travail de recherche de longue haleine et notre système agricole actuel, qui repose sur des pratiques incompatibles avec cette approche, ne va pas faciliter la tâche des chercheurs. Toutefois, le contexte actuel change et les orientations vers une réduction des intrants vont dans le sens de pratiques plus favorables aux mycorhizes : raisonnement de la fertilisation, réduction du travail du sol, couverture des sols, diversification des rotations...