

L'impact négatif des pesticides sur la nutrition des plantes

L'exemple de la bouillie bordelaise

Note de l'ITAN

Axel Maunoury

14 mai 2010

« L'étude des plantes sans leurs mycorhizes est l'étude d'artefacts. La majorité des plantes ne forment pas de racines sensu stricto : elles forment des mycorhizes » (BEG, 1993)

La base d'un rendement satisfaisant repose sur la nutrition des plantes. La source de celle-ci est la lumière complétée par les minéraux qui se trouvent dans le sol. Le sol est composé de matière minérale provenant de l'érosion des roches, et de matières organiques (l'humus) issues de la décomposition partielle des végétaux. Il héberge une flore microbienne très variée comprenant des bactéries, des champignons, des protozoaires, des algues, des virus. Parmi cette flore, les champignons et les bactéries jouent un rôle central, entre autres, dans la nutrition des plantes. Mais certains champignons et certaines bactéries sont sources de maladies pour les plantes. C'est pour cette raison que des fongicides et bactéricides sont couramment utilisés en traitement de certaines cultures. Le plus anciens d'entre eux, toujours couramment employé, y compris en agriculture biologique, est le sulfate de cuivre. Puis nous verrons pourquoi ces pesticides, biologiques ou non, impactent négativement le rendement des cultures malgré l'avantage éphémère qu'ils procurent en combattant à court terme certaines infections.

Le sulfate de cuivre est principalement utilisé sous la forme appelée bouillie bordelaise. C'est un pesticide (bactéricide et fongicide) fabriqué par neutralisation d'une solution de sulfate de cuivre par de la chaux éteinte. C'est le caractère toxique de la synergie entre cuivre et chaux qui confère à la bouillie bordelaise ses propriétés fongicide et bactéricide. Elle contient 20 % de cuivre (exprimé en cuivre métal). Pour garantir un meilleur effet mouillant, on y ajoute un surfactant (du savon noir naturel en général), qui est un composé présentant deux parties de polarité différente, l'une qui retient les matières grasses, et l'autre miscible dans l'eau. Elle est souvent vendue sous forme de poudre micronisée (dont la taille des grains est de l'ordre du micromètre, ce qui augmente la réactivité du produit) mouillable, de couleur bleue, à ne pas confondre avec d'autres matières actives biocides à base de cuivre tels que l'oxychlorure de cuivre, l'oxyde cuivreux ou l'hydroxyde de cuivre.



Sulfate de cuivre

La bouillie bordelaise a commencé à être utilisée sur la vigne vers 1885 dans le Bordelais. Elle a été utilisée et l'est encore sur les arbres fruitiers (pêcher, pommier, abricotier, prunier) avant la floraison et après récolte. En oléiculture, le cuivre est utilisé contre l'œil de paon et parfois contre des bactérioses et la fumagine. La bouillie bordelaise s'utilise aussi sur les pommes de terre, les tomates, les fraisiers, les rosiers et bien d'autres plantes, afin de :

- traiter ou limiter certaines maladies cryptogamiques (cloque du pêcher, mildiou, tavelure, chancre...) ;
- traiter quelques maladies bactériennes, comme la galle du collet par exemple, causée par une bactérie du genre *Agrobacterium*.

Si dans certains cas les champignons ou les bactéries sont pathologiques, une large biodiversité fongique et bactérienne est cependant indispensable pour une nutrition correcte des plantes. Comme nous allons le voir, dans le cas du traitement au sulfate de cuivre, comme d'ailleurs avec tous les autres fongicides et bactéricides, le remède est bien pire que le mal. En effet, en voulant combattre une infection, on élimine par un traitement une partie des populations fongique et bactérienne, ce qui aboutit à une perturbation de la nutrition des plantes, et de ce fait à une diminution du rendement moyen.



Maladie de la tache noire du rosier causée par un champignon du genre *Diplocarpon*

Le monde des racines est indissociable de celui des champignons. Chaque plante est associée à une communauté de champignons. Cette association est appelée mycorhize. Une mycorhize est une association mutualiste, spécifique, durable et à bénéfice réciproque entre le mycélium d'un champignon et les racines d'une plante. Cette symbiose racines/champignons est obligatoire dans les conditions naturelles, car ni les champignons mutualistes ni les végétaux ne peuvent vivre indépendamment l'un de l'autre : les champignons mutualistes ont besoin des sucres synthétisés par les feuilles de la plante, en contrepartie, ils fournissent de l'eau et des sels minéraux qu'ils extraient du sol.

Les deux principaux types de mycorhizes sont les suivants : (si certaines plantes peuvent présenter simultanément les deux types de mycorhizes, la plupart sont spécifiquement liés à l'une ou à l'autre des mycorhizes).

Les endomycorhizes à arbuscules concernent, par exemple, les platanes, les érables, les frênes, les fruitiers ainsi que la quasi-totalité des plantes herbacées. Invisibles à l'œil nu, les filaments du champignon pénètrent dans les cellules où ils se ramifient très finement pour former des arbuscules (de la forme d'un arbre) qui ont donné leur nom à ce type de mycorhize. C'est au niveau de ces arbuscules qu'ont lieu les échanges de la symbiose. Les filaments fongiques (mycélium) se développent également à l'extérieur des racines, explorant ainsi le sol à grande distance des racines (10 cm), alors qu'une racine par ses propres moyens ne peut exploiter au mieux que les ressources situées à moins d'un cm.

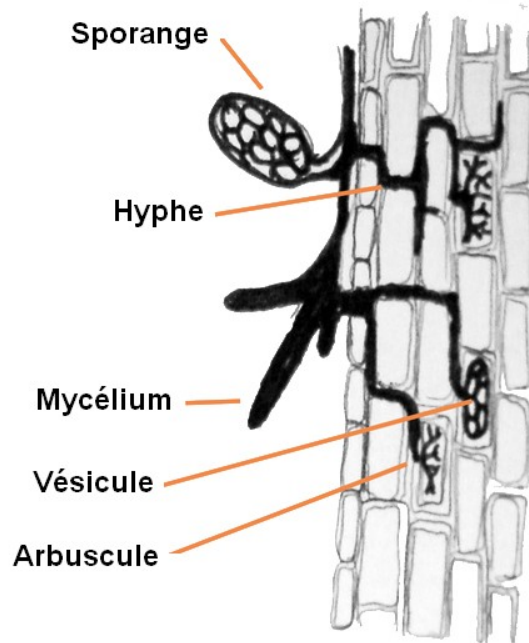


Schéma d'une endomycorhizes à arbuscules dans une racine

Les ectomycorhizes concernent, à titre d'exemple, les frênes, les hêtres, les chênes, et les épicéas communs. Visibles à l'œil nu, les filaments des champignons ectomycorhiziens forment un manchon compact qui gaine et recouvre complètement l'extrémité des racines fines. De ce manchon émane des filaments très ramifiés qui s'insinuent entre les cellules et les enserrant (comme un filet) sans les pénétrer et sans former d'arbuscules. Les ectomycorhizes émettent des filaments qui explorent et exploitent le sol comme les endomycorhizes, à une longue distance (10 cm). Encore plus que les endomycorhizes, les ectomycorhizes contrôlent tous les échanges entre le sol et les racines puisque le manchon forme une barrière continue et que tous les flux doivent transiter par les tissus fongiques.

Les mycorhizes associées aux racines assurent une grande diversité de fonctions indispensables à la vie de la plante, pour lesquelles les racines seules ne sont pas équipées ou peu efficaces.



Ectomycorhize d'amanite formant un manchon autour d'une racine

Une meilleure nutrition en eau et en éléments minéraux.

Les hyphes sont les réseaux ramifiés formant le corps des champignons (le corps est appelé mycélium). Les hyphes explorent le sol à plusieurs centimètres de distance, ce qui accroît considérablement le volume prospecté par la plante. De plus, du fait de leurs diamètres beaucoup plus fins que celui des poils absorbants des racines, les hyphes exploitent les pores du sol (interstice pouvant contenir un liquide) les plus petits, là où les sels minéraux dissous présents dans le sol subsistent le plus longtemps lors des périodes de sécheresse. Enfin, les hyphes possèdent des caractéristiques physiques et chimiques particulières qui leur permettent, mieux qu'aux racines seules, d'absorber de l'eau fortement retenue par les colloïdes du sol (argile et humus), ou très concentrée en substances dissoutes. Ces trois propriétés (volume exploité, finesse, caractères physico-chimiques) du réseau mycélien lui permettent d'accéder à l'eau et aux éléments nutritifs dissous qu'elle contient : azote, phosphore, potassium, magnésium...

En résumé, les racines fines absorbent l'eau du sol et les éléments nutritifs qui y sont dissous, mais elles sont assistées en cela par le mycélium externe de leurs champignons symbiotiques qui puisent dans le sol plus efficacement qu'elles.

Mobilisation des éléments peu solubles.

Parmi les éléments nécessaires à la nutrition et à la croissance des plantes, certains sont peu solubles ou retenus dans les minéraux de la roche-mère ou dans la matière organique du sol, et donc inaccessibles aux racines.

Beaucoup mieux que les racines, les champignons symbiotiques (surtout les ectomycorhizes), disposent de toute une gamme de mécanismes qui leur permettent de solubiliser et de rendre absorbables ces ressources d'accès difficile : altération des minéraux, solubilisation du fer, extraction de l'azote et du phosphore contenus dans les matières organiques. Ils sont aidés dans ces travaux par les bactéries qui vivent dans la terre immédiatement au contact des racines (rhizosphère) :

Altération des minéraux. Les minéraux du sol qui proviennent de la roche-mère représentent un stock important mais insoluble de calcium, phosphore, potassium, magnésium, etc. Les

champignons et les bactéries associées sont capables, par une production d'acides, de les altérer et de les rendre soluble dans l'eau du sol. C'est ainsi que les champignons et les autres micro-organismes de la rhizosphère jouent un rôle important, non seulement dans la nutrition des plantes, mais aussi dans la formation des sols, en participant à la dissolution de la roche-mère et aboutissant ainsi à la constitution d'un milieu meuble.

Solubilisation du fer. Le fer, élément essentiel dans la respiration des plantes, se trouve dans le sol sous des formes insolubles. Certains champignons associés à des bactéries spécialisées de la rhizosphère solubilisent le fer et le rendent disponible pour les racines.

Décomposition des macromolécules organiques (humus). Une grande partie du stock d'azote et de phosphore du sol est bloqué dans l'humus. La solubilisation et le recyclage de l'azote et du phosphore sont assurés par des bactéries mais surtout par des champignons spécialisés dans la décomposition du bois, et aussi par les champignons ectomycorhiziens qui contribuent ainsi à la nutrition de la plante.

Production de substances de croissance. Les extrémités des racines en croissance (coiffes) sont le siège de la production d'hormones végétales qui assurent la régulation du développement et de la croissance des différents organes de la plante. Les champignons mycorhizes et les autres micro-organismes de la rhizosphère ont la capacité de produire les mêmes substances ou des molécules analogues dotées des mêmes propriétés physiologiques, avec comme effet de favoriser la prolifération des racines qu'ils peuvent coloniser. L'ensemble des micro-organismes associés aux racines contribue donc à l'équilibre hormonal de la plante et influe sur son développement (croissance racinaire, date de débourrement, floraison, persistance des feuilles, port, maturation des semences).

Le mycélium des champignons mycorhiziens présente ainsi le précieux avantage d'explorer à grande distance des racines, contribuant ainsi à la nutrition des arbres. Mais ils présentent une autre conséquence positive. En effet, lorsqu'il atteint d'autres racines, le mycélium forme de nouvelles mycorhizes. Un pont est alors mis en place entre les plantes, qu'elles soient de la même espèce, ou même d'une espèce différente. Il en résulte l'interconnexion des plantes par un réseau mycélien qui permet le transport et la redistribution de l'eau, des éléments minéraux, et de la matière organique au sein du peuplement.

Les interactions entre plantes sont donc plus complexes qu'on ne le croit souvent : à la compétition qui existe bel et bien (il existe des arbres qui en tuent d'autres par cette voie), s'ajoute l'entraide.

En plus des champignons, les bactéries jouent, comme nous l'avons vu, un très grand rôle dans la nutrition des plantes. Tout comme les champignons, certaines bactéries sont capables de dégrader des substances insolubles d'origine végétale comme la cellulose, la lignine, de réduire les sulfates, d'oxyder le soufre, de fixer l'azote atmosphérique et de produire des nitrates. Elles ont donc un rôle indispensable dans la fertilité des sols. Les bactéries abondent au niveau des racines des végétaux avec lesquels elles vivent en mutualisme.

Certaines fixent l'azote et produisent des composés azotés utilisés par les plantes

(exemple des bactéries Azotobacter ou Frankia). En échange, la plante évacue au niveau des racines des sucres, des acides aminés et des vitamines qui stimulent la croissance des bactéries. D'autres bactéries comme Rhizobium sont associées aux plantes légumineuses au niveau des nodosités, qui sont de petites boursouflures se formant sur les racines de ces dernières.

Pour conclure, un rendement satisfaisant implique une nutrition efficace des plantes, laquelle passe par de nombreuses relations symbiotiques au niveau du système racinaire, et donc une riche biodiversité fongique et bactérienne.

Cette biodiversité est anéantie par l'emploi d'un fongicide et bactéricide, même aussi biologique que le sulfate de cuivre. Par conséquent, les pesticides impactent positivement le rendement des cultures lorsqu'ils sont appliqués de façon curative mais négativement dès qu'ils sont appliqués de façon préventive. L'avantage transitoire obtenu par la suppression d'une bactériose ou d'une maladie cryptogamique se paie très cher.

Sources :

- ASSELINÉAU Emilia, DOMENECH Gille (2007), *De l'arbre au sol : Les Bois Raméaux Fragmentés*, Éditions du Rouergue.
- BARBIÉ Olivier (2005), *Abrégé d'agriculture naturelle*, Éditions ITAN, Paris, 2007.
- BURONFOSSE, F., BERNY P. (ENVL). 2004. « L'écotoxicologie des fongicides », Formation ACTA « Connaissance des Fongicides »
- FORTIN Jean-André, PLENCHETTE Christian, PICHE Yves (2008), *Les mycorhizes - La nouvelle révolution verte*, Éditions Quæ et Multimondes, Québec.
- FUKUOKA Masanobu : *La révolution d'un seul brin de paille : Une introduction à l'agriculture sauvage*, Éditions de la Maisnie, Paris, 2005.
- LESPINASSE Jean-Marie (2006), *Le jardin naturel*, Éditions du Rouergue, 173 pages.
- SOLTNER Dominique (2000, 2001), *Les bases de la production végétale : Le sol, le climat, la plante*, Tome I et III, Éditions Sciences et techniques agricoles, Sainte-Gemmes-Sur-Loire, 2000 pour le tome I et 2001 pour le tome III.
- THE INTERNATIONAL BANK FOR THE GLOMEROMYCOTA (BEG), <http://www.kent.ac.uk/bio/beg/french/frenchhomepage.htm>

Crédit photos : Wikipédia

[http://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Copper\(II\)-sulfate-pentahydrate-sample.jpg](http://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Copper(II)-sulfate-pentahydrate-sample.jpg)
http://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Black_spot.jpg
http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:485px-Arbuscular_mycorrhiza_cross-section-es.png
[http://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Mycorrhizal_root_tips_\(amanita\).jpg](http://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Mycorrhizal_root_tips_(amanita).jpg)