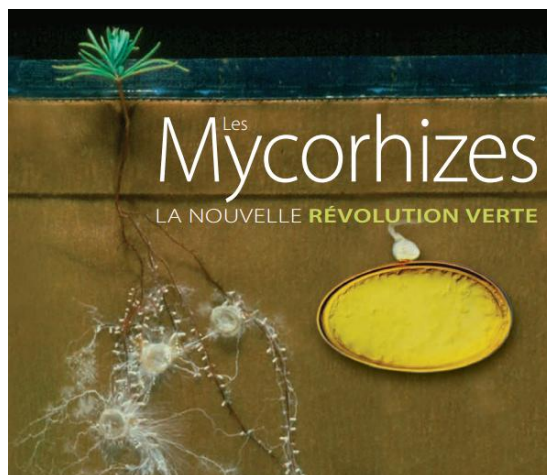


Les mycorhizes, les plantes, la biodiversité et la Permaculture



Les mycorhizes sont des champignons travaillant en symbiose avec les racines des plantes.

Ce sont, par exemple, les champignons dont nous remplissons nos paniers dans les bois.

Mais, les recherches conduites depuis une trentaine d'années laissent entrevoir les nombreux atouts de ces champignons et la possibilité d'en tirer profit pour inventer une nouvelle façon de cultiver moins gourmande en intrants.

Les mycorhizes sont le parfait exemple d'une relation symbiotique entre un champignon et une plante.

Si la plante nourrit le champignon en composés carbonés, elle-même en tire pléthore d'avantages : meilleure absorption des éléments minéraux, meilleure résistance à la sécheresse et autres stress environnementaux (pH, résistance à la température...) ... Hélas, notre agriculture ne bénéficie que très peu de cette relation car nos pratiques agricoles actuelles sont fortement défavorables à la mycorhization.

Notre sélection variétale s'est orientée vers des variétés moins sensibles à cette symbiose.

La fertilisation minérale (essentiellement phosphore) apportée aux cultures via les engrais chimiques ou les effluents d'élevage est trop élevée et les plantes n'ont plus besoin du champignon pour trouver les éléments nutritifs.

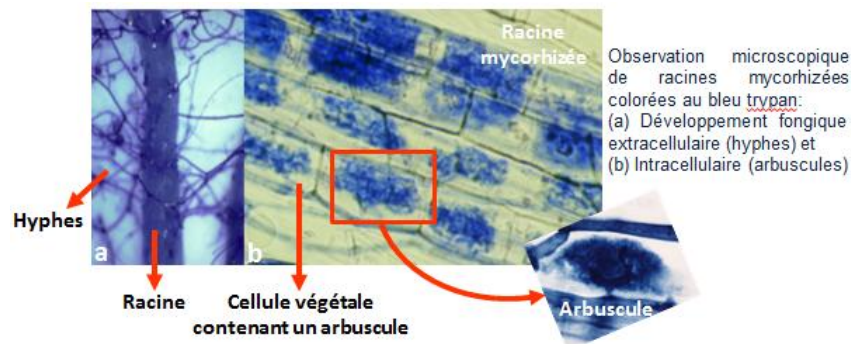
Le labour détruit régulièrement le tissu mycorhizé.

Enfin, les pesticides, en particulier les fongicides, sont souvent néfastes pour ces champignons. Toutefois, dans l'optique de réduction d'intrants que nous connaissons et par les changements de pratiques nécessaires pour l'atteindre (rotation plus diversifiée, protection moins chimique...), ces mycorhizes pourraient devenir un allié essentiel pour amorcer une « nouvelle révolution verte » pour peu que nous prenions enfin en considération leur existence.

Le rôle des mycorhizes

Les mycorhizes sont des symbioses bénéfiques qui s'instaurent entre les racines de plantes et certains champignons du sol. Elles concernent plus de 95% des plantes terrestres dont la plupart sont des plantes agricoles et horticoles. Développées par les plantes depuis plusieurs millions d'années, les associations mycorhiziennes donnent un meilleur accès aux éléments nutritifs du sol et aide les plantes à mieux résister aux stress environnementaux (sécheresse, salinité, attaque par des agents pathogènes...) de façon naturelle.

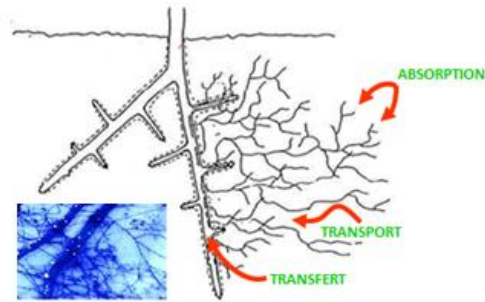
Il existe plusieurs types de mycorhizes et le plus répandu est celui des mycorhizes à arbuscules (MA). Cette symbiose est rencontrée chez près de 80% des plantes dont la majorité des plantes de cultures (arbres fruitiers et d'ornement, céréales, plantes ornementales et maraichères, plantes aromatiques). Les MA sont ainsi nommées du fait du développement du champignon symbiotique sous forme de petits buissons (arbuscules) à l'intérieur des cellules. En formant ce nouvel organe, la plante modifie considérablement ses relations avec le sol et augmente prodigieusement (grâce aux hyphes extra radiculaires du champignon) sa surface d'exploration : on estime que le volume de sol exploité par la plante est multiplié par 1000 grâce aux mycorhizes. Ce phénomène permet à la plante d'absorber de façon optimale les nutriments du sol (principalement azote, phosphore et oligoéléments) et de l'eau. Ce qui permet d'améliorer la qualité et le rendement des cultures.



Les mycorhizes jouent aussi un rôle de bio-protection contre des agents pathogènes du sol (nématodes, autres champignons/bactéries pathogènes) en renforçant notamment les défenses naturelles des plantes.

De plus, la formation des mycorhizes est connue pour stabiliser les sols et augmenter la fixation de CO₂ dans le sol.

Certaines souches fongiques sont particulièrement bien adaptées pour la décontamination des sols et leur revégétalisation.



Actions des hyphes extra-radicales des champignons mycorrhizogènes sur l'apport en eau et nutriments à la plante

En retour, le champignon bénéficie de la photosynthèse : la plante fournit au champignon jusqu'à 20% des sucres (carbone) qu'elle produit. Ces sucres sont essentiels au développement et à la survie du champignon.



Schéma représentant les échanges champignons-plantes

L'exploitation des mycorhizes est une technologie biologique permettant de doter les plantes d'un système racinaire plus performant et d'augmenter leurs défenses naturelles : de ce fait, les mycorhizes sont des bio-fertilisants, des bio-protecteurs et des bio-régulateurs du développement des plantes.

Les techniques agricoles utilisées depuis ces dernières décennies (utilisation de grandes quantité d'engrais et de pesticides, tassement des sols...) ont provoqué une raréfaction, voire une absence des champignons mycorrhizogènes de la plupart des substrats de culture utilisés en horticulture et des sols soumis à des traitements intenses en intrants chimiques. La réintroduction de ces champignons va permettre d'améliorer la croissance des plantes par des moyens biologiques, tout en réduisant considérablement l'apport d'engrais chimiques de synthèse et de pesticides. L'exploitation de ces nouveaux outils biologiques ouvre des perspectives d'innovation et d'amélioration des systèmes de culture conduisant à minimiser les risques de pollution de l'environnement (sol, eau et air) et de contamination des aliments.

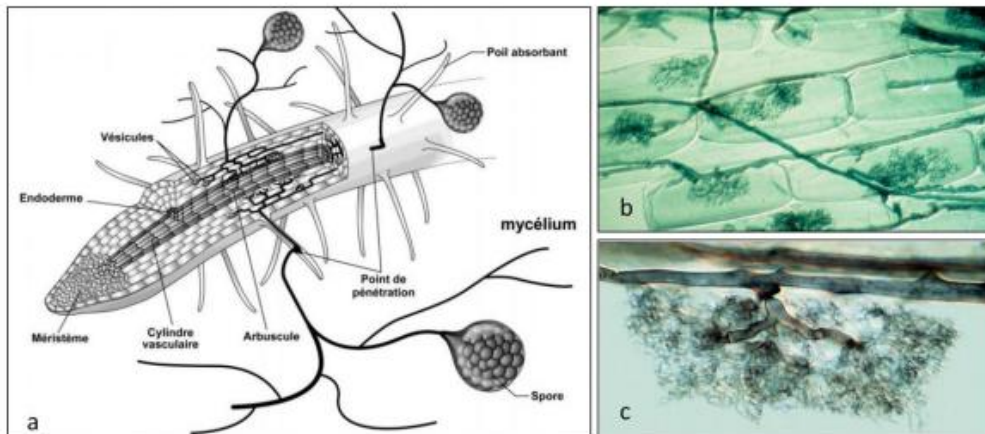


Figure 2.1 Les mycorhizes arbusculaires (a) Représentation schématique des mycorhizes arbusculaires (b) Photo du mycélium intracellulaire et des arbuscules (c) Photo d'un arbuscule (compilation d'après : Fortin et autres, 2008, p. 13-14)

Fertilisant "naturel" et non toxique pour les plantes :

- Augmentation de la surface d'exploration des racines grâce aux hyphes extra-radiculaires des champignons : accès à des sources de nutriments et d'eau via le partenaire fongique non accessibles aux racines,
- Bio-protection contre le développement d'agents pathogènes,
- Stimulation des défenses naturelles des plantes,
- Diminution de la mortalité liée à la transplantation du plant...
- Accroissement plus rapide et meilleur rendement de la plante,
- Bio-stabilisation du sol (amélioration et préservation de la structure du sol, protection contre l'érosion des sols) grâce au développement des hyphes fongiques,
- Réduction des coûts de production en diminuant les apports de produits chimiques de synthèse et d'eau,
- Rôle central dans la dépollution et revégétalisation des sols contaminés

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 mycorhizes, selon des critères morphologiques. Chez les ectomycorhizes, 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 endomycorhizes, les hyphes ne forment pas de manchon autour de la racine, mais franchissent les parois des cellules radiales 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 ectomycorhizes 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 mycorhization, 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 1000 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 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 mycorhizogènes jouent ainsi le rôle de biofertilisants, en améliorant la nutrition du végétal, notamment en azote (minéral 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.

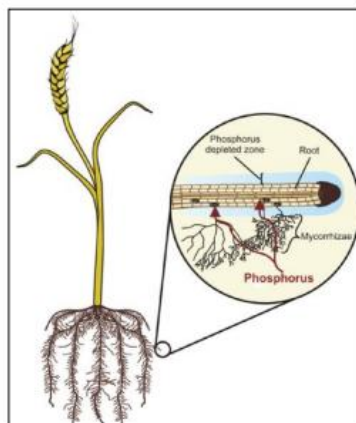


Figure 2.2 Impact des mycorhizes sur l'absorption des éléments minéraux des plantes (tirée de : Roy-Bolduc and Hijri, 2011, p. 5)

Bien que l'avantage principal apporté par les mycorhizes soit nutritionnel, des effets non-nutritionnels sont également observés. Les champignons mycorhizogènes 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)...

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 Glomaline :

Les particules du sol de surface sont maintenues ensemble par diverses substances organiques. Par exemple, la Glomaline, une protéine produite par des champignons (Mycorhizes), qui agit comme une « colle des sols » pour créer des agrégats du sol stable. Le collage des particules du sol ensemble dans les agrégats contribue à maintenir les pores et les canaux dans le sol, pour que l'air et l'eau puisse pénétrer et se déplacer à travers le sol. Des agrégats du sol sont plus stables et plus difficiles à délayer que les particules de sol individuelles lors des pluies intenses.

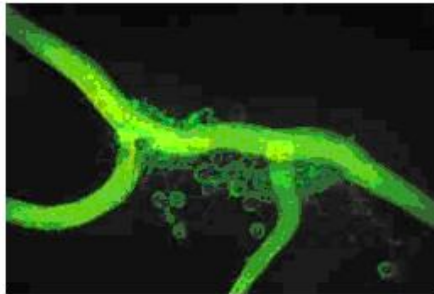


Photo : Sarah Wriarth

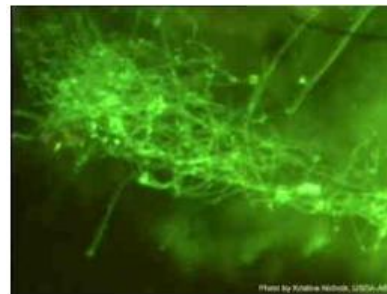


Photo : Kristine Nichols

Filaments mycorhiziens sur une racine de maïs recouverts de Glomaline

La Glomaline existe depuis que les mycorhizes existent soit depuis plus de 425 millions d'années mais n'a été découverte qu'en 1996 par Sarah Wriarth de l'USDA (Département de l'Agriculture des Etats-Unis).

La structurante Glomaline

Le champignon possède aussi donc la propriété de sécréter une protéine, la Glomaline. Celle-ci contribue directement au renouvellement du stock de matières organiques du sol car elle se décompose difficilement et s'accumule, formant une partie de l'humus. Des études estiment même que cette proportion représenterait le tiers du carbone séquestré dans les sols de la planète. Ce qui est absolument considérable ! D'autres expérimentations ont aussi montré qu'en semis direct la teneur en Glomaline était deux fois plus élevée qu'en système avec labour.

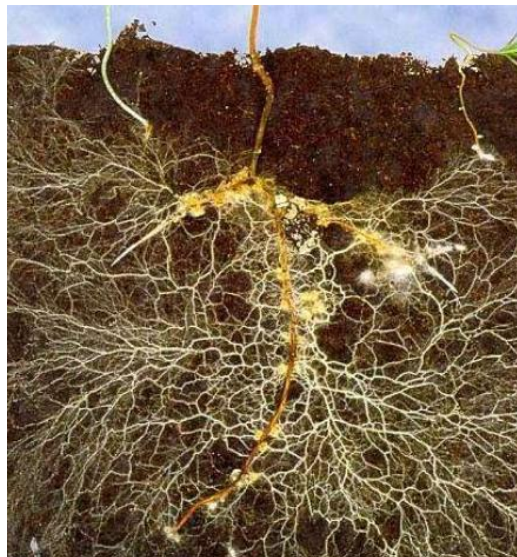
Seules les prairies affichent des taux supérieurs. Concrètement parlant, la Glomaline est une glycoprotéine qui a un rôle fondamental dans la stabilité structurale. Elle agit à la façon d'une colle qui assemble les particules les plus fines pour en faire des agrégats stables. Ainsi, de part ces propriétés, le réseau de mycélium mycorhizien contribue physiquement, chimiquement et biologiquement à la formation et à la stabilisation des agrégats du sol, ainsi qu'au maintien d'un pool de matières organiques, elles-mêmes facteurs de plus grande stabilité structurale.

Comment tirer parti du travail des mycorhizes ?

Les associations mycorhiziennes modifient les rapports d'une plante avec son environnement. D'autres microorganismes du sol peuvent être plus utiles aux plantes en présence d'associations mycorhiziennes. Les mycorhizes augmentent notamment la capacité des bactéries fixatrices d'azote à favoriser la croissance des légumineuses et l'activité de bactéries favorisant la croissance d'autres plantes. Les mycorhizes peuvent réduire les infections causées par les bactéries et champignons pathogènes. On possède la preuve que l'association de certains arbres avec des mycorhizes les aide à résister à l'assaut des insectes. D'autres espèces d'arbres ont été en mesure de tirer de l'azote des mycorhizes qui infectaient les insectes vivant dans le sol.

Les relations entre plantes sont également altérées. Les mycorhizes peuvent agir en tant que pont entre deux plantes afin de permettre au phosphore de voyager d'une plante « donneuse » à une plante « réceptrice ». Les rapports entre mauvaises herbes et cultures peuvent également être modifiés. Les mycorhizes peuvent empêcher la prolifération de plantes qui ne sont pas mycorhiziennes - des plantes comme le chou gras, l'amarante, la moutarde sauvage et le sarrasin sauvage. Ils peuvent également nuire à la croissance des cultures non mycorhiziennes comme la moutarde, le canola, le quinoa, le sarrasin ou l'amarante.

Un chercheur affirme que les mycorhizes peuvent modifier le « fonctionnement des peuplements de mauvaises herbes de sorte que l'impact net des mauvaises herbes devienne plus bénéfique ». Par exemple, cela se produit lorsque les mauvaises herbes favorisent la croissance des mycorhizes qui colonisent plus tard la culture. Ceci pourrait expliquer le fait que certaines cultures poussent mieux suivant un peuplement composé de certaines espèces de mauvaises herbes, *pas si mauvaises que ça au final...*



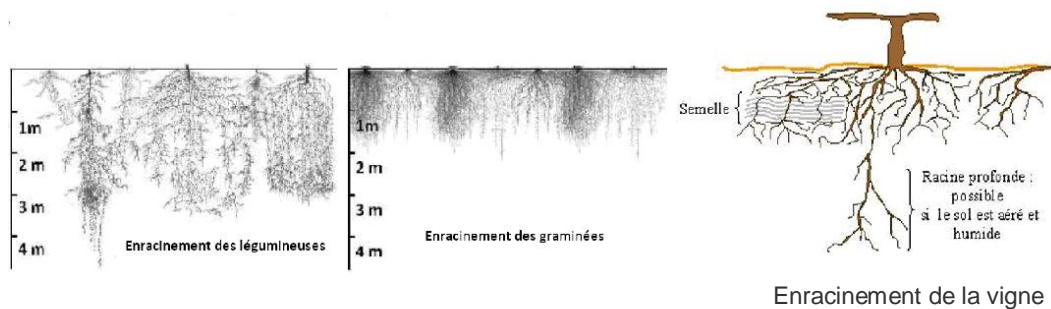
L'association Mycorhizes / Légumineuses.

L'approche conventionnelle en agronomie s'est traduite par une réduction des interactions et une simplification de la structure trophique. Les recherches agronomiques passées ont ainsi permis de déterminer une densité optimale pour chaque espèce de plante en monoculture, afin de minimiser les interactions intra-spécifiques pour les ressources et de maximiser les rendements. Mais le résultat a été l'existence de communautés simplifiées avec une faible résilience et une faible stabilité.

En revanche, une approche dite agro-écologique prend en compte les interactions entre espèces dans le contexte des communautés. Reconnaître l'existence d'interactions spécifiques bénéfiques équivaut à reconnaître la nécessité d'un certain niveau de complexité dans les agro-systèmes pour avoir un fonctionnement optimal. Là encore, favoriser la biodiversité, notamment des champignons mycorhiziens à arbuscules, peut permettre l'émergence de propriétés écologiques nouvelles susceptibles d'optimiser le fonctionnement global des agro-systèmes (réduire les apports externes, augmenter la productivité des plantes).

Un exemple illustrant cet aspect est la culture intercalaire de plantes (Hinsinger et al. 2011). Actuellement, ce type de méthode est développé dans le cas d'associations de blé (*Triticum aestivum*, poacées) et de légumineuses. Les légumineuses via les nodosités fixatrices d'azote ont un effet améliorant sur la richesse du sol en azote. La nutrition phosphatée des plantes est alors améliorée. La même approche semble être envisageable dans le cas de la multiplication des mycorhizes en culture pérenne. La présence simultanée de la symbiose mycorhizienne et de la symbiose avec les bactéries du genre rhizobium (pour la fixation de l'azote de l'air) exerce un effet synergique sur la croissance des plantes. Un autre point fort en faveur de l'introduction des légumineuses dans nos systèmes de culture !

En effet le système d'enracinement des différentes espèces est différent, les graminées dépassant rarement 1m de profondeur, les légumineuses peuvent s'enraciner jusqu'à plus de 3m, alors que la vigne étend son système racinaire (chevelu) entre 30 et 80cm principalement et pivote jusqu'à plusieurs mètres.



L'objectif de ces associations est de conserver un sol toujours couvert en surface pour permettre une colonisation permanente sous la surface du sol par les différents microorganismes (mycorhizes et rhizobium) et sans discontinuité.

Ce tissu ainsi constitué et perpétuellement nourri permettrait d'explorer 1000 fois plus de volume de sol que les racines seules mais permettrait aussi à chaque pied de vigne de communiquer avec les autres.

Quand les vignes surfent sur le réseau pour trouver des « amis » Il existe une autoroute biologique cachée sous la surface et enchevêtrée dans les racines de la flore étonnante et diversifiée de la Terre qui relie les membres du règne végétal à ce que les chercheurs appellent « Wood Wide Web ». Ce réseau organique fonctionne un peu comme notre réseau internet, permettant aux plantes de communiquer, de distribuer la nourriture ou même de nuire à l'autre.

Le réseau est composé de minces filets de champignons que l'on appelle mycélium qui se développent sous terre jusqu'à quelques mètres de la plante partenaire, ce qui signifie que l'ensemble de la vie de la plante dans une zone peut être reliée au réseau et à un autre. La relation des racines des plantes et des champignons est connue sous le nom de mycorhize et est bénéfique pour les deux parties concernées : les plantes fournissent des glucides aux champignons et en échange, les champignons aident à rassembler l'eau et fournissent des nutriments tels que du phosphore et de l'azote à leur plante partenaire.

On a découvert que ce réseau fongique permet aux plantes de s'entraider dans la croissance et l'épanouissement. Suzanne Simard, diplômée de l'Université de la Colombie-Britannique, a été la première à montrer que les Sapins de Douglas et les bouleaux étaient capables de transférer le carbone aux petits arbres qui ne reçoivent pas un ensoleillement suffisant, permettant aux jeunes plantes de pousser à l'ombre des autres arbres. Simard pense que la majorité des jeunes plantes dans le monde ne pourraient pas survivre s'il n'y avait pas ce réseau fongique.

Une étude menée par Ren Sen Zeng, de l'université agricole de Chine du Sud, a constaté que cette interconnexion permet également aux plantes de s'avertir les unes les autres du risque potentiel.

Dans cette étude, l'équipe a fait pousser des plants de tomates en pots par paires, où l'on a laissé des mycorhizes se former. Lorsque les réseaux fongiques se sont formés, une plante de chaque paire a été pulvérisée d'*Alternaria Solani*, un champignon qui provoque le mildiou au début de la vie de la plante. Des sacs plastiques hermétiques ont été utilisés pour s'assurer qu'il n'y avait pas d'interaction avec le dessus du sol. Après 65 heures, l'équipe a essayé d'infecter la seconde plante de chaque paire et a constaté que celles qui avaient du mycélium étaient beaucoup moins susceptibles de contracter la maladie et étaient beaucoup moins endommagées si elles la contractaient que celles sans mycélium. Une étude similaire a été réalisée par David Johnson, diplômé de l'Université d'Aberdeen, et une équipe de collègues qui ont montré que les fèves utilisent également le réseau fongique pour intercepter le danger imminent sur une autre plante. Quand les pucerons affamés se nourrissent sur les feuilles de l'un des pieds de fève, les plantes sont reliées via le mycélium pour commencer à excréter leur défenses chimiques anti-pucerons, alors que les pieds qui n'étaient pas reliés n'avaient aucune réaction.

« Il y avait une certaine forme de signaux entre ces plantes concernant l'herbivorie des pucerons, et ces signaux ont été transportés par le biais d'un réseau de mycélium mycorhizien. » ~David Johnson~



« Ces réseaux fongiques rendent la communication entre les plantes, y compris celles d'espèces différentes, plus rapide, et plus efficace. Nous ne pensons pas à cela parce que généralement nous pouvons seulement voir ce qu'il y a au dessus du sol. Mais la plupart des plantes que vous pouvez voir sont reliées sous terre, pas directement par leurs racines, mais par un réseau de mycélium. » -Kathryn Morris-

Le travail du sol dans les parcelles, qui a pour but de « nettoyer le sol », tout comme les traitements fongicides, détruisent à chaque passage ce réseau de communication. Chaque nouvelle tonte de l'herbe indigène en présence, active la multiplication des graminées au détriment des autres plantes, réduit la diversité et consomme les réserves en eau de la parcelle.

A l'inverse, le fait de semer et de « rouler » les couverts végétaux plutôt que de les détruire et de les enlever, permet d'étendre le réseau de communication.

Le passage du Rolofaca permet aux racines de rester en vie, préserve le réseau mycorhizien et favorise la conservation d'une bonne couverture du sol.

Le fait de choisir son enherbement pour l'adapter à la situation de chaque parcelle, de le renouveler chaque année, permet d'harmoniser la culture avec les plantes qui l'accompagnent, d'enrichir le sol en cellulose, en humus, en azote, de mobiliser l'ensemble de ses réserves minérales et organiques et de constituer le liant (Glomaline) qui permettra d'agglomérer les particules pour éviter l'érosion, améliorer l'aération, augmenter la rétention en eau pour enfin vous offrir la meilleure des récoltes.

Le terme « Expression du Terroir » reprend désormais tout son sens !

Ce concept agro-éco-systémique est entre autres une des bases de la Permaculture.

Mais ce n'est là que le début du chemin...

Synthèse réalisée en mars 2016 par :

Alain MALARD

Consultant en viticulture et œnologie

Bibliographie :

L'endomycorhization contrôlée en agriculture, en horticulture et en arboriculture : Problèmes et progrès (S. GIANINAZZI_Mai 1982)

Relations entre les plantes et les microbes du sol. Mycorhizes. (S. GIANINAZZI_Décembre 1983)

Progress and Headaches in Endomycorrhiza Biotechnology (S. GIANINAZZI & V. GIANINAZZI-PEARSON_1986)

Depressed metabolic activity of arbuscular mycorrhizal fungi after fungicide applications (J.L. KOUGH et al_Mars 1987)

Mycorrhizae: a plant's health insurance (S. GIANINAZZI & V. GIANINAZZI-PEARSON_Octobre 1988)

The state of art of mycorrhizas and micropropagation (P.E. LOVATO et al_1996)

The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility (P. JEFFRIES et al_2003)

Agroecology: the key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services (S. GIANINAZZI et al_Août 2010)

Management des mycorhizes chez l'olivier (A. MEDDAD-HAMZA et al_2011)

Development of arbuscular mycorrhizal biotechnology and industry: current achievements and bottlenecks (M. VOSATKA et al_Janvier 2013)