

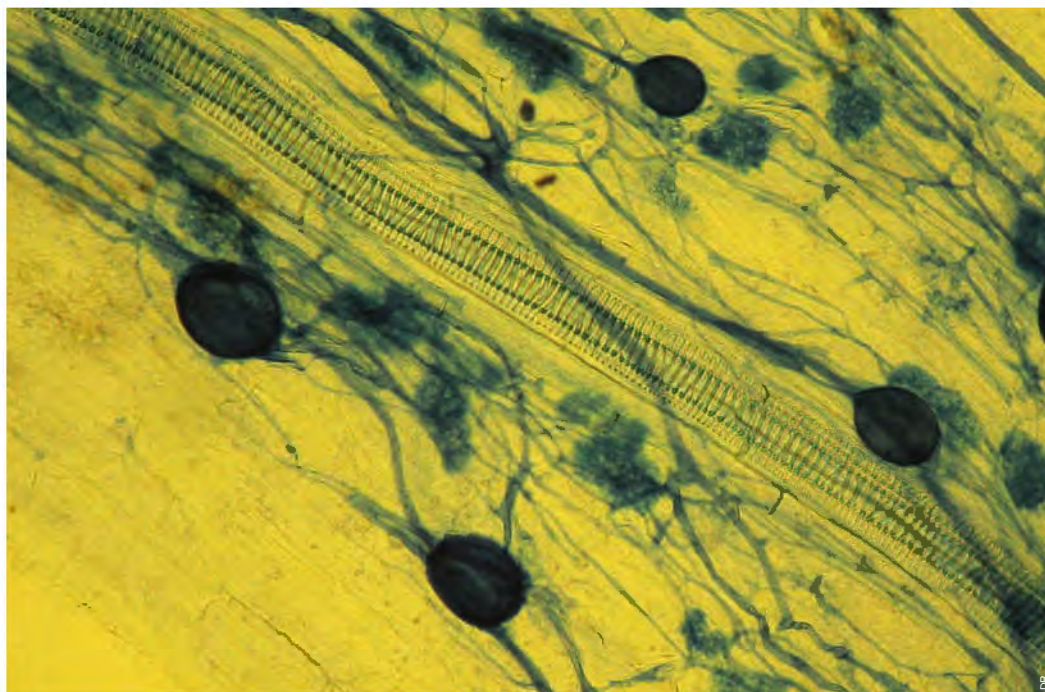
CHAMPIGNONS MYCORHIZIENS ET SYMBIOSE MYCORHIZIENNE PREMIÈRE PARTIE : LES AS DE LA NUTRITION VÉGÉTALE

Peu à peu, les différentes facettes de la vie des champignons mycorhiziens et des symbioses qu'ils forment avec les plantes se dévoilent : ce sont les champions de la connexion dans les sols et les grands facilitateurs de l'alimentation des plantes. Mais comment fonctionnent-ils en milieu agricole ? Qu'est-ce qui leur est bénéfique, néfaste ? Voici un nouveau dossier sur ces acteurs du volant d'autofertilité, comme nous en avons publié un dans TCS 89 de septembre/octobre 2016, appuyé cette fois-ci par le solide projet Mycoagra, réunissant agriculteurs, techniciens et chercheurs. Son but est justement de mieux comprendre les effets des pratiques agricoles sur la mycorhization naturelle en sortant des laboratoires pour des études en plein champ.

■ Si, au tout début de leur découverte, les chercheurs du XIX^e siècle ont pris les champignons mycorhiziens pour des champignons pathogènes, ce n'est que plus tard que les scientifiques se sont rendu compte du type de relation auquel ils avaient affaire : une symbiose mutualiste¹. Dans la symbiose mycorhizienne, les deux partenaires tirent profit de leur association. La plante hôte fournit les produits sucrés issus de sa photosynthèse tandis que le champignon mycorhizien, incapable de photosynthèse, facilite l'alimentation de la plante en nutriments du sol. Il existe beaucoup de mycorhizes mais le type qui nous intéresse le plus, car formant la symbiose mycorhizienne de plus de 80 % des plantes terrestres, est le champignon mycorhizien à arbuscules (CMA) qui appartient au phylum des glomérômycètes. Il existe quelques familles végétales qui ne forment pas de symbiose mycorhizienne : les brassicacées (crucifères) et les chénopodiacées. À cela s'ajoutent quelques espèces comme le sarrasin ou le lupin ; à nuancer cependant puisque des scientifiques affirment la possibilité de mycorhization du sarrasin et de certaines crucifères...

Grands facilitateurs de l'alimentation des végétaux

Dans un premier temps, la densité du réseau de filaments microscopiques permet d'étendre de plusieurs dizaines de centimètres la zone racinaire, multipliant par un facteur de 100 jusqu'à 1 000 l'exploration du



sol (sans symbiose, « l'exploration » se résume aux seules racines et avec une assimilation au niveau des « seuls » poils absorbants). Pour donner un ordre d'idée : une cuillère à café de sol mycorhysé peut facilement contenir plusieurs kilomètres de ces hyphes. Cette symbiose plante-champignon a pour objectif « la grande bouffe ». Alors qu'une racine se développe de quelques mm par jour, le mycélium est capable de progresser de 2 cm et de manière exponentielle, chaque embranchement prenant le relais. Ainsi il est redoutablement efficace, il court et il explore le sol à la recherche de nourriture et de boisson qu'il pourra échanger contre le carbone de la photosynthèse venant de la plante. Des chercheurs japonais se sont amusés à le faire passer dans un labyrinthe (T. Nakagaki,

H. Yamada et A. Toth) en plaçant un grain d'orge malté qui dégage une forte odeur de sucre d'un côté et le mycélium de l'autre : il va direct au but sans perdre une seconde. À la différence des animaux, il n'a pas choisi de s'encombrer d'un estomac ; sa stratégie est de digérer sa nourriture avant de l'ingurgiter. Ainsi il projette directement des enzymes qui transforment les nutriments en nanoparticules qu'il peut ensuite envoyer à la vitesse de l'électricité au travers de ses réseaux mycéliens. En fait, il utilise l'énergie microfluidique de l'eau, l'énergie de la vie que l'on commence à mieux comprendre : plus la goutte et le conduit sont petits et plus l'énergie est forte. C'est une chaîne alimentaire où commence une complexité organisée et dynamique, qui

se reproduit selon une stabilité cinétique qui compose la force même de l'évolution. Les champignons mycorhiziens ont aussi leurs formes de résistance, des spores, partout présentes dans les sols. En conditions favorables (température >



En 2015, une équipe de chercheurs (Max Planck Institute for Chemical Ecology) a démontré que l'ancêtre de toutes les plantes serait une algue qui a conquis la planète en choisissant la symbiose avec des mycorhizes. Cette étape décisive de l'évolution se serait passée dans l'océan il y a 550 millions d'années avant de venir coloniser et envahir la terre ferme. Ainsi, la nécessité symbiotique est, d'une certaine manière, déjà inscrite dans le génome de toutes les plantes.

(1) Dans tout le dossier, on devra comprendre par symbiose formée par les champignons mycorhiziens, une symbiose mutualiste et donc à bénéfices réciproques ; contrairement à d'autres formes de symbiose qui peuvent être neutres (commensalisme) ou négatives (parasitisme).

Quand la rencontre se fait...

Comment le champignon, présent dans le sol, fait-il pour enclencher la symbiose ? Il s'approche d'une racine parce qu'il est attiré par des substances émises par cette dernière. La relation commence donc à l'initiative de la plante. Ces substances ou signaux moléculaires appartiennent à la famille des strigolactones. Sachez, à propos, que des plantes invasives du genre *Striga* ou orobanches savent déjouer ce mécanisme en reconnaissant elles aussi, ces strigolactones.

Perçus par le champignon mycorhizien, ces signaux déclenchent chez celui-ci un développement de son mycélium, soit à partir d'un réseau mycélien déjà présent, soit à partir de la forme de conservation du champignon dans le sol, la spore. C'est ce développement du mycélium qui permet la rencontre. Il y a donc du hasard dans cela ! Si, dans les 8 jours, le mycélium n'a rencontré aucune racine, il stoppe son développement et se remet en phase d'attente de nouveaux signaux émis par une plante. Mais attention, ceci n'est pas un processus éternel : il ne peut pas avoir lieu plus de deux fois ; ensuite, le champignon meurt. Dans le cas maintenant où le mycélium a pu rencontrer une racine, il va émettre lui aussi des signaux « amis » appelés facteurs MYC (des saccharides). Dès lors que ces facteurs sont reconnus et acceptés par la plante, la porte est ouverte et le champignon commence son installation dans la racine. À noter que la plante peut ne pas accepter !

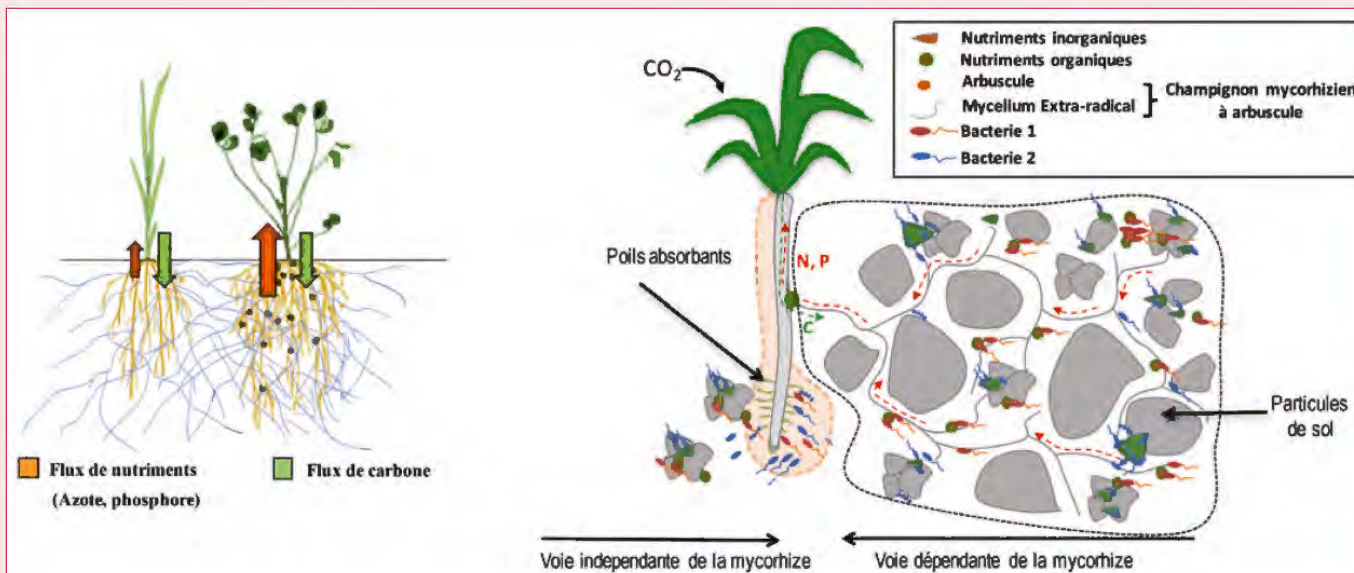
C'est encore elle qui décide. Le champignon mycorhizien développe ses hyphes qui vont circuler entre les cellules corticales de la racine et à l'intérieur. Lorsqu'un hyphe pénètre à l'intérieur d'une racine, il développe des petits sacs bourgeonnant. Ce sont les arbuscules. En

fait, les arbuscules sont faits de matières issues du champignon et de la plante ; ce sont des organes mixtes. Les échanges de nutriments entre la plante et le champignon se font au niveau de ces organes spéciaux : la plante fournit la nourriture carbonée au champignon (nourriture issue de la photosynthèse dans les parties aériennes de la plante et pouvant représenter entre 4 et 20 % du carbone fixé par photosynthèse) ; le champignon apporte à la plante des éléments minéraux absorbés dans le sol ; certains difficiles d'accès pour le végétal (phosphore). Le transport de ces éléments échangés entre les deux protagonistes se fait via des protéines spécialisées (des transporteurs).

Par rapport à la voie habituelle empruntée par les composés carbonés issus de la photosynthèse vers les racines, en présence de la symbiose, on assiste à une redirection spécifique de sucres vers les arbuscules ; à savoir que la régulation du transport carboné de la plante pour le symbionte fongique est dépendante de l'espèce.

Ainsi installé dans la racine, le champignon mycorhizien développe son réseau d'hyphes mycéliens à l'extérieur de la racine, dans la rhizosphère et au-delà, formant même des jonctions avec des hyphes d'autres champignons mycorhiziens et donc d'autres végétaux.

Si rien ne vient perturber ce mécanisme naturel, le « Web du sol » se met en place. Enfin, on peut aussi se demander si le champignon peut « envahir » de manière démesurée son hôte. Heureusement non ; la plante y prend garde. La présence de symbiose mycorhizienne impacte aussi le système hormonal de la plante, assurant un équilibre de croissance entre les deux partenaires.



Les CMA (champignons mycorhiziens à arbuscules) ont une faible spécificité d'hôte (il y a 250 espèces de CMA pour 200 000 espèces de plantes), ce qui signifie qu'un même groupe de CMA peut coloniser les racines de plantes d'espèces différentes (adventices comprises). En revanche, il semblerait que tous les groupes de CMA n'établissent pas le même « commerce » avec les mêmes plantes. En effet, dans des expériences réalisées au laboratoire, les échanges de nutriments (ici carbone contre azote) ne sont pas équitables entre une légumineuse et une céréale connectées par le champignon A ou le champignon B. La taille des flèches montre que l'intensité des flux dépend du champignon. Ces résultats suggèrent que tous les groupes de champignons n'ont pas le même rôle dans la nutrition des plantes, ce qui pourrait influencer leur croissance et la production de biomasse, voire de grains.

PIERRE-EMMANUEL COURTY/INRA-DION



Jersey | 3, Rue du Bois | Robin | FR-27770 Illiers L'évêque | Tél: 02.37.48.07.49 | Fax: 09.60.06.98.58 | E-mail: info@dal-bo.fr | www.dal-bo.fr



A. COLOMBET ET D. WIPF



A. COLOMBET ET D. WIPF

La biodiversité joue un rôle essentiel dans le développement des plantes et beaucoup d'expériences en conditions contrôlées montrent qu'une plante cultivée en l'absence de tout micro-organisme pousse très difficilement et qu'elle est souvent moins résistante aux perturbations environnementales (sécheresse, attaques de pathogènes, pollution...). Sur ces photos, plants de poireaux et de caféiers avec et sans champignons mycorhiziens.

10 °C, humidité), ces spores germent et commencent à élaborer un mycélium à la recherche d'une plante support et surtout de sucres et de carbone qu'ils ne savent pas synthétiser. C'est dans cette phase que se déroule un extraordinaire dialogue moléculaire dans lequel la plante émet des substances d'appel (les strigolactones) qui vont stimuler le champignon qui à son tour va répondre par d'autres molécules, les facteurs MYC, afin que la symbiose puisse se mettre en place (voir encadré page 19). S'il n'y a pas de plantes à proximité, le réseau mycélien se résorbe et la spore retourne à son état végétatif en attente d'un partenaire futur.

Pivots de la collecte et des échanges de nutriments entre végétaux

On le sait depuis longtemps, les réseaux mycorhiziens démultiplient les zones d'alimentation des plantes et permettent à celles-ci de se procurer les

éléments les moins mobiles. Si leur intérêt est souvent mis en avant pour le phosphore, ces réseaux sont aussi stratégiques pour beaucoup d'autres éléments comme le calcium, le fer et le magnésium mais aussi des micronutriments clés comme le manganèse, le zinc et le cuivre. Le phosphore est globalement rare sur terre et dans les sols. De plus il est souvent solidement rattaché à du fer, de l'aluminium ou au mieux, du calcium et donc « insoluble » (il peut aussi s'associer temporairement à des formes organiques). De manière parallèle, le P apporté avec les engrais réagit rapidement avec ces cations et précipite en forme insoluble. C'est donc pour cette raison que les communautés végétales s'appuient sur les mycorhizes pour accéder à ces formes de phosphore. En fait, les hyphes mycorhiziens produisent des enzymes qui incluent des phosphatases afin de convertir ces formes de P en nutriments utilisables par les végétaux (ions phosphates).



Contrairement aux idées reçues, il y a peu de relations entre le niveau de développement aérien et souterrain chez les végétaux. L'affaire est presque contre-proportionnelle : plus une plante pourra mobiliser facilement les nutriments dont elle a besoin, moins elle développera de racines et plus l'énergie et le carbone captés par la photosynthèse en association avec les constituants minéraux puisés dans le sol pourront être valorisés par un accroissement des parties aériennes. Il semble donc logique que le développement de la rhizosphère et des mycorhizes en particulier, suive la même tendance. Lorsqu'une plante a pléthore d'alimentation, elle privilégiera d'abord ses propres racines alors qu'une plante qui se trouve en difficultés pour s'alimenter dans un sol pauvre et sec, devra financer plus de racines mais aussi plus de mycorhizes, certainement plus habiles pour aller chercher le peu de fertilité et eau disponibles et/ou mobilisables.

Transferts d'azote



Comme le phosphore, l'azote est un facteur limitant important pour la production végétale. Inversement au phosphore, il est très soluble et peut même échapper aux racines pour se retrouver dans les rivières et/ou les nappes. Cependant, des chercheurs de l'Université de Irvine, en Californie, viennent de découvrir, en utilisant la nanotechnologie (des particules semi-conductrices ont été attachées à des acides aminés) que l'absorption de N par les racines n'est pas restreinte aux formes inorganiques (NO_3 , NO_2 et NH_4) mais que les hyphes des mycorhizes transportent également des acides aminés. Ces molécules entières sont ensuite véhiculées par les vacuoles des cellules jusqu'aux chloroplastes où l'azote est utilisé pour la photosynthèse. Dans une rhizosphère sans mycorhizes, les acides aminés, qui sont les composés primaires des protéines, doivent subir des processus de décomposition complexes et longs, gérés par des bactéries et d'autres organismes du sol avant que l'azote soit disponible sous une forme inorganique, soluble et donc absorbable par les plantes. Généralement cet azote est repris par l'activité biologique elle-même, ce qui repousse encore plus la disponibilité en N pour les plantes. Cette recherche démontre que la présence de champignons mycorhiziens permet de contourner ces processus, donnant aux plantes hôtes un accès rapide et efficace aux sources d'azote organique. Cela renforce l'intérêt des amendements organiques mais aussi des couverts végétaux pour développer l'autofertilité. Cela signifie aussi beaucoup d'économie d'énergie au sein de la plante elle-même (pas besoin de reconstruire des chaînes carbonées déjà existantes) mais aussi du système plante/activité biologique du sol qui pourra être réinvesti soit dans le développement végétatif et donc la productivité, soit dans le déploiement de réseaux mycorhiziens encore plus actifs. C'est certainement un habile équilibre entre les deux qui est arbitré en fonction des contextes pédo-climatiques, des communautés végétales et des périodes de l'année.



Selon les associations plantes/CMA, l'absorption d'azote par la voie mycorhizienne peut représenter de 20 à 50 % du contenu azoté total des racines hôtes.

+d'infos



Si vous n'avez pas le N° 98 de TCS en main et que vous souhaitez lire la suite de ce dossier, vous pouvez le commander au 03 87 69 18 18. Pour plus d'information sur les TCS, le semis direct et les couverts végétaux, nous vous donnons également rendez-vous sur : www.agriculture-de-conservation.com

Cette symbiose offre ainsi un bien meilleur accès au phosphore du sol mais augmente également l'efficacité des engrais phosphatés.

L'absorption d'ions phosphate par la voie mycorhizienne peut représenter entre 20 et 100 % de l'absorption totale d'ions phosphate par la plante. Toujours dans un but d'amélioration de l'alimentation de leurs hôtes chlorophylliens, les mycorhizes peuvent aussi assurer des transferts et une forme de partage des éléments peu disponibles. Comme l'explique Hervé Covès, grand spécialiste de l'approche holistique des systèmes de culture : « *Le phosphore a toujours été un élément très rare dans les sols (avant son extraction des mines qui pourraient assez rapidement s'épuiser). Aussitôt présent, il est normalement avidement récupéré par les mycorhizes pour être distribué à l'ensemble des espèces connectées. Ainsi, un cadavre de souris présent dans un bout de parcelle peut fournir son phosphore aux espèces végétales connectées à des dizaines de mètres alentour.* » Ainsi la symbiose mycorhizienne agit comme un « biofertilisant » et fournit par exemple des résultats spectaculaires en cultures maraîchères de plein champ. Pourtant cette contribution potentielle des mycorhizes n'apparaît pas dans les calculs de fertilisation en grandes cultures notamment, alors que les fixations symbiotiques pour l'azote sont prises en compte. Une des raisons est la faible dépendance des variétés sélectionnées à cette forme de symbiose et surtout le travail intensif du sol qui détruit les réseaux mycorhiziens dont on profite, en fin de compte, assez peu en grandes cultures conventionnelles.

Amélioration de la gestion de l'eau

L'énorme extension de la zone d'absorption directement connectée aux racines permet, en complément, de mobiliser plus intensivement l'ensemble de l'humidité du sol (le point de flétrissement devient alors une notion assez théorique). Mieux encore, lorsque le sol s'assèche, les mycorhizes fournissent une solution supplémentaire. À ce

moment, les organes appelés « vésicules » (différents des arbuscules), qui se développent à l'intérieur des cellules des racines, servent de stockage pour l'eau et des nutriments dissous pour faire face à une période de disette comme une sécheresse. Il a même été montré qu'en cas de sécheresse, le champignon mycorhizien était capable d'envoyer des signaux à la plante pour lui indiquer de fermer ses stomates ! En fait ces vésicules peuvent être assimilées à une multitude de petits « réservoirs » qui emmagasinent les surplus des échanges lorsque le sol est bien pourvu et les redistribuent lorsque le sol s'appauvrit. En fonction des plantes et des situations, ce stock de survie peut se chiffrer en semaines et même en mois, permettant aux plantes d'attendre le retour de conditions favorables et la reprise des processus d'alimentation classiques. Sans pour autant prévenir tous les risques de sécheresse, les mycorhizes apportent encore ici une forme de temporisation très intéressante. Cet éclairage permet de mieux comprendre pourquoi les cultures semblent beaucoup mieux résister au sec dans certains sols et le double rôle fondamental que peuvent jouer les mycorhizes rien qu'à ce niveau.

Mycorhizes : le bouclier protecteur

Les maladies racinaires sont un combat continu dans les systèmes de culture. Même si les plantes semblent bien supporter ces attaques, elles dépensent une quantité d'énergie assez importante pour assurer leur protection. À ce niveau, les mycorhizes constituent une première barrière de défense contre les organismes pathogènes et peuvent être visualisées comme le système immunitaire naturel contre les maladies fongiques des racines. Une fois que la mycorhization est fonctionnelle, les hyphes commencent à produire et à relarguer dans le sol environnant, des molécules qui repoussent, suppriment et même tuent des vecteurs de maladies fongiques (*Phytophthora*, *Pythium*, *Rhizoctonia*, *Fusarium* et bien d'autres). En complément,

des cellules fongiques spécialisées s'accumulent autour de la racine, construisant une forme « d'armure » pour retenir toute invasion et pénétration dans le végétal. Enfin la présence de mycorhizes pourrait stimuler le développement d'une microflore protectrice dans la rhizosphère. La périphérie des racines mycorhizées pourrait ainsi contenir dix fois plus de micro-organismes que celle de racines non mycorhizées. Des chercheurs ont montré que des plants de maïs inoculés par une population indigène de champignons endomycorhiziens augmentaient leur métabolisme et produisaient des composés phénoliques et des phytoalexines impliqués dans la résistance des plantes aux attaques de champignons pathogènes et de nématodes ainsi qu'une plus grande résistance aux stress hydriques.

L'Internet des végétaux

Grâce aux progrès fulgurants de la biologie moléculaire, les chercheurs sont capables aujourd'hui d'identifier l'étendue

des communautés fongiques et bactériennes présentes dans les sols et notamment dans les parcelles cultivées. Ainsi pour ce qui est des champignons endomycorhiziens qui intéressent nos cultures, on sait qu'ils peuvent coloniser plusieurs plantes à la fois et servir ainsi de relais pour faire circuler des nutriments et autres éléments favorables (hormones, stimulateurs de défense, eau) entre les différentes espèces pour favoriser globalement la biodiversité du lieu. Grâce à des marqueurs ADN identifiant simultanément les champignons et les plantes d'une zone, les chercheurs ont pu montrer le degré de colonisation croisée des espèces présentes et obtenir ainsi l'image du réseau mycélien qui connecte les plantes entre elles (cf. schéma sur pins Douglas). Pour donner une image simple : une plante « attaquée » ne reste pas impassible. Elle va chercher à se défendre et donc élaborer différentes substances et molécules pour repousser/empoisonner/isoler l'agresseur mais aussi appeler à l'aide : à chacune



RMC = réseau mycélien commun

À l'échelle d'un couvert végétal, des plantes d'espèces, de stades et de tailles différents sont reliées entre elles par un réseau mycélien commun formé par la symbiose de CMA (champignons mycorrhiziens à arbuscules). Ayant un rôle dans la nutrition végétale, sa croissance, sa défense, dans la structuration du sol également, ce RMC a un impact sur le type de communauté végétale qui se développe et son environnement proche (nature du sol notamment). Par exemple, la recherche a montré que lorsque l'activité photosynthétique est réduite, les plantes colonisées par plusieurs CMA semblent distribuer préférentiellement leur carbone aux champignons qui leur transfèrent le plus d'éléments minéraux. Les RMC amplifient aussi les compétitions interplantes en favorisant les transferts de nutriments des petites plantes vers les grandes plantes. Mais ce n'est pas tout car d'autres acteurs viennent s'immiscer dans ce réseau. Il ne faut pas oublier en effet que les CMA et leurs plantes hôtes établissent aussi des relations avec les populations microbiennes du sol. On sait ainsi que les végétaux ou les CMA sont capables de sélectionner telle ou telle population microbienne, par exemple des PGPR qui leur sont favorables.

REPRÉSENTATION DE LA RICHESSE ET DE LA DIVERSITÉ DES RELATIONS MYCORHIZIENNES DANS UNE COMMUNAUTÉ FORESTIÈRE

Bien qu'il ne s'agisse pas de culture, la visualisation des connexions mycorrhiziennes dans cet espace montre toute la complexité de cette symbiose mais également son potentiel en termes d'alimentation mais aussi d'échange d'informations entre les végétaux. Dans le Parc de Malheur en Oregon, en nettoyant des arbres, les forestiers ont réalisé que la prairie de ce parc était en fait le plus grand être vivant au monde. Il s'étend sur plus de 1000 ha et 4 mètres d'épaisseur pesant dans les 35 000 tonnes et serait âgé de 8 000 ans environ. L'*Armillaria solopides*, un champignon ou plutôt son mycélium, recouvre tout le terrain, digère les conifères géants et croque des bouts de route au passage. Il adore le carbone fossile, celui parfumé aux huiles essentielles bactéricides du pin ou les polluants persistants du pétrole. C'est lui qui permet le recyclage de la fertilité et la continuité de l'épanouissement de la végétation.

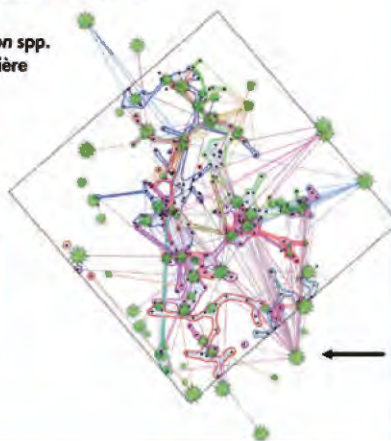
GEORGE OXLEY : MANIFESTE GOURMAND DES HERBES FOLLES : SE FAIRE DU BIEN EN DÉGUSTANT LES PLANTES SALIVAGES

Architecture d'un RMC

Répartition spatiale de *Rhizopogon* spp. et Douglas sur une parcelle forestière de 30 x 30 m

Rhizopogon vesiculosus (14 génets) (en bleu)
Rhizopogon vinicolor (13 génets) (en rose)
 67 Douglas d'âges variés (en vert)
 Collecte des champignons (points noirs)

L'arbre le plus connecté (flèche) est lié à 47 autres arbres par 8 génotypes de *R. vesiculosus* et 3 génotypes de *R. vinicolor*.



SOURCE : BEILER KJ, ET AL. (2010) NEW PHYTOL. 185 : 543-553

son panel de stratégies plus ou moins directes et complexes. Ainsi et lorsque la plante est connectée grâce aux mycorrhizes, ces molécules vont être reprises et diffusées rapidement à l'ensemble du réseau afin d'avertir les autres végétaux qui vont se préparer à riposter. Vu sous cet angle, ce partage d'informations est un puissant mode de protection collectif et le réseau mycorrhizien peut être comparé à l'Internet des plantes. À titre d'exemple, une étude chinoise confirme que des plants de tomates isolés les uns des autres, sauf au niveau mycorrhizien, étaient capables « d'alerter » les plants voisins de l'arrivée d'un mildiou (*Alternaria solani*). En quelques heures, ils avaient déjà commencé à produire des enzymes de défense spécifiques.

Mycorhizes et légumineuses

Petite digression scientifique : les légumineuses (60 millions d'années), beaucoup plus récentes que les champignons mycorrhiziens (450 millions d'années) dans l'évolution du vivant, ont copié l'organisation de l'appareil symbiotique (beaucoup de gènes et de protéines communs). Ainsi, les légumineuses sont beaucoup mieux placées que les autres plantes pour ce type de symbiose. Elles sont, à ce titre, certainement des plantes relais

favorisant ces réseaux dans la rotation. Les légumineuses sont également très mycorrhizées car les nodosités nécessitent du phosphore et du soufre et une complexité de nutriments pour fonctionner. Les mycorrhizes apportent aussi beaucoup d'azote à la plante via une accélération de la digestion des résidus et de la MO. Ainsi le gain net d'azote apporté par les légumineuses n'est pas aussi important que souvent évoqué et doit être relativisé. Il y a l'azote libre du sol prélevé directement par la plante, l'azote atmosphérique fixé par les rhizobiums (une entrée positive dans le sol et surtout le végétal) mais aussi l'azote mobilisé par la symbiose mycorrhizienne. Pour cette partie, il ne s'agit que d'azote déjà présent dans le sol et la matière organique mais simplement mobilisé par des circuits différents que les racines. En d'autres termes, les réseaux mycorrhiziens permettent de shunter les processus de minéralisation classiques et d'accélérer le recyclage de l'azote. Il est logique que les légumineuses, tellement avides d'azote, aient mis en place plusieurs stratégies pour se fournir.

Les gestions agricoles défavorables aux mycorhizes

Si les produits « chimiques » sont, par habitude, souvent



Biomax pour remplacer le travail du sol par les racines. Ce type de stratégie en matière de couvert semble essentielle pour les mycorrhizes en complément de la multitude de bénéfices agronomiques et d'avantages environnementaux que nous ne détaillerons pas ici. Même si les mycorrhizes sont peu spécialisées, la présence d'une diversité d'espèces va contribuer à développer des spectres biologiques larges, différents et certainement très complémentaires. Par ailleurs la compétition pour les ressources en fin d'été et début de l'automne, qui vont inévitablement se raréfier, risque de contraindre les végétaux à user de toutes leurs stratégies pour se développer et à défaut survivre, en investissant beaucoup de carbone liquide et en s'appuyant sur la vie du sol. Enfin et contrairement au travail du sol d'à côté, la couverture végétale verte et vivante va fortement limiter l'échauffement du sol et mieux capter et conserver l'humidité qui peut être rare à cette période, à l'instar d'un système forestier, facilitant la conservation du réseau nourricier vivant pendant cette phase souvent critique.



La référence qualité prix

ZA Auralis - La Maucarriere 79600 Tessonnière

☎ 05 49 63 63 63 - Fax 05 49 63 63 64



Le test de sédimentation, comme ici entre une parcelle en conduite labour, à droite, et en AC à gauche, peut s'apparenter à une forme d'analyse du niveau mycorhizien dans les sols. Même si l'approche est assez sommaire, ce sont bien les hyphes des réseaux de champignons qui retiennent le sol tel un filet à mailles très fines. Cet effet est même doublé par la glomaline, une protéine sécrétée par ces mêmes mycorhizes qui est aujourd'hui présentée comme la « colle biologique » des sols. Ainsi, sans vraiment donner le niveau et la diversité des mycorhizes présents, ce test, simple à mettre en œuvre, offre déjà un premier aperçu assez fiable du niveau de mycorhization d'une parcelle et permet assez facilement de juger de l'impact des pratiques culturales, entre autres, sur cet élément.

pointés du doigt lorsque l'on parle de biologie du sol, il est certain que les champignons et surtout les êtres très filamenteux comme les mycorhizes n'apprécient pas le labour et plus globalement le travail du sol intensif et répété. Si se trouver découpé en petits morceaux est déjà un stress assez fatal, cette intervention, surtout lorsqu'elle est conduite au printemps ou en été, conduit à une aération et à un assèchement brutal du sol, avec une forte montée en température. Ce changement brutal d'environnement, impropre aux mycorhizes comme à l'ensemble de la vie du sol, amplifie largement l'action mécanique. En complément, comme souvent le travail du sol vise à éliminer, tout ou presque, la végétation

vivante qui nourrit le sol par ses exsudats racinaires mais également les mycorhizes, l'impact est fortement amplifié. Enfin l'incorporation des résidus de cultures comme de produits organiques et le brassage qui s'ensuit orientent l'activité biologique vers une forme plutôt bactérienne de décomposition et de minéralisation qui libère de la fertilité dans le profil plutôt par à-coups et sensibilise le système au lessivage. Cette situation qui fournit massivement des nutriments « gratuitement » aux plantes vient ainsi encore shunter l'utilité des champignons mycorhiziens qui est plus collaborative et complète, bien qu'un peu coûteuse en énergie pour les plantes. L'impact des engrais « solubles » rejoint le même



La relation entre adventices, mycorhizes et cultures de rente est assez complexe. D'une certaine manière, il faut admettre que la présence d'une diversité de plantes en même temps dans une parcelle entraîne une forme de compétition sur les ressources qui va être favorable aux mycorhizes d'autant plus que les « mauvaises herbes » prolongent la présence d'une activité de photosynthèse pendant la maturation de la culture et après la récolte. Par ailleurs et au-delà du risque de compétition, il semblerait qu'une bonne activité mycorhizienne tendrait à favoriser la culture et l'aiderait à dominer parce que les adventices sont souvent des hôtes « faibles » pour les mycorhizes (souvent des plantes très nitrophiles qui apprécient et profitent des excès de fertilité disponibles et surtout d'azote). Les associations de cultures et les plantes compagnes sont ici une parfaite illustration de complémentarité possible sans vraiment de compétition, voire même des phénomènes de facilitation.

■ dossier ressources

raisonnement. Ce n'est pas une question de toxicité mais comme les nutriments sont très disponibles dans le sol, les cultures ne consacrent pas ou peu d'énergie en relations symbiotiques. Ce qui est vrai pour les légumineuses avec l'azote l'est également pour le phosphore et les autres éléments avec les mycorhizes. Le souci est que les autres bénéfiques de ces associations comme la protection contre les maladies et surtout la mobilisation de l'eau, ne sont pas activables rapidement et exposent la culture à des stress plus sévères en cas de conditions défavorables. Des intercultures sans végétation et encore plus si elles sont travaillées, réduisent autant les chances de survie pour les champignons du sol. L'absence de plantes hôtes signifie aucune photosynthèse et possibilité de s'alimenter. Les mycorhizes devront survivre sous la forme de spores. Les traitements chimiques et bien évidemment les fongicides, risquent d'avoir eux aussi des

effets négatifs complexes, aux impacts très différents selon les matières actives. S'il existe beaucoup de questionnements sur les traitements de semences qui, tout en protégeant la graine, l'isoleraient de relations symbiotiques précoces, les fongicides systémiques sont certainement tout aussi problématiques. On comprend donc ici tout l'intérêt d'une gestion de la protection fongique par des voies « probiotiques » (stimulants, purins, voire micro-fertilisation foliaire) plutôt que par une posture de lutte et d'élimination. Les herbicides sont certainement moins impactants mais en éliminant les intrus « mauvaises herbes », ils ruinent toute source d'alimentation complémentaire et toute chance d'introduction de diversité végétale dans la parcelle. La présence de plantes non mycorhizées (brassicées et chénopodiacées) n'est pas nocive en tant que tel. Comme elles ne font pas appel à ce type de symbiose, elles augmentent logiquement la longueur des



**SEMOIR
SEMIS DIRECT**



TESTEZ. COMPAREZ. CHOISISSEZ !



**Le choix d'un semoir
de semis direct n'est pas simple !**

**Pour vous aider, notre objectif est simple :
même jour - même champ que nos compétiteurs.**

**SLY a conçu une machine spéciale démo,
rapide à déplacer.**

DEMANDEZ UNE DÉMONSTRATION


slyfrance.com




05.53.40.32.95

■ dossier ressources

intercultures sans hôtes favorables. Les spores de champignons germées s'épuisent ; elles font donc baisser la mycorhization potentielle pour les cultures suivantes. Il ne faut pas pour autant les interdire, mais il est de bon aloi de les associer avec d'autres plantes qui elles, sont très favorables. C'est le cas notamment des moutardes et des radis en association dans les couverts végétaux avec des légumineuses. Idem pour la stratégie colza associé qui trouve encore ici une justification supplémentaire. D'autres pratiques peuvent être, même si c'est dans une moindre mesure, défavorables au développement et à l'entretien de réseaux mycorhiziens performants et diversifiés. Sans être exhaustif, il est possible de citer la compaction des sols, la chute des taux organiques, le manque de diversité des cultures et la monoculture. Une extensification conduisant à une réduction importante de la biomasse totale produite est aussi un facteur de dégradation. Il est égale-

ment assez justifié de penser que la sélection végétale a conduit à un appauvrissement du potentiel mycorhizogène des principales cultures, parce que la fertilité disponible par le travail du sol et la fertilisation n'étaient pas un facteur limitant stimulant cette symbiose.

Les approches agricoles favorables

Stabilité, végétalisation continue, diversité et intensification de la photosynthèse sont les clés pour construire un sol vivant mais aussi pour développer et entretenir un bon système mycorhizien actif. L'archétype même du milieu très favorable aux mycorhizes est logiquement la forêt qui associe merveilleusement bien ces quatre paramètres cités plus haut. La prairie est certainement le second milieu favorable ; cependant son impact sera très dépendant de sa diversité végétale et de sa productivité sans ressources extérieures. En systèmes plus céréaliers et/ou polyculture, avant d'injecter des myco-



L'élevage ou plutôt le pâturage est une stratégie positive. En fait les plantes pâturées utilisent une partie des réserves et du carbone qui leur reste pour commander et doper la rhizosphère afin de mobiliser rapidement de la fertilité pour repartir plus vite. Ainsi et aussi surprenant que cela puisse paraître, brouter stimule l'activité biologique du sol d'autant plus que la végétation est active sur un sol fertile et réactif avec le retour immédiat des déjections. C'est pour cette raison que le surpâturage est, à l'inverse, une double sanction qui entraîne la production et le sol dans un cycle de dégradation par un manque d'énergie pour financer l'activité biologique pour mobiliser des ressources rapidement afin de repartir en photosynthèse. En revanche, le pâturage de couvert Biomax, comme ici, permet de cumuler les effets indiscutables de l'association complexe de plantes mais aussi l'impact positif des animaux à partir du moment où le pâturage est très ponctuel et mobile afin de laisser au sol et aux plantes le temps de se reconstituer.

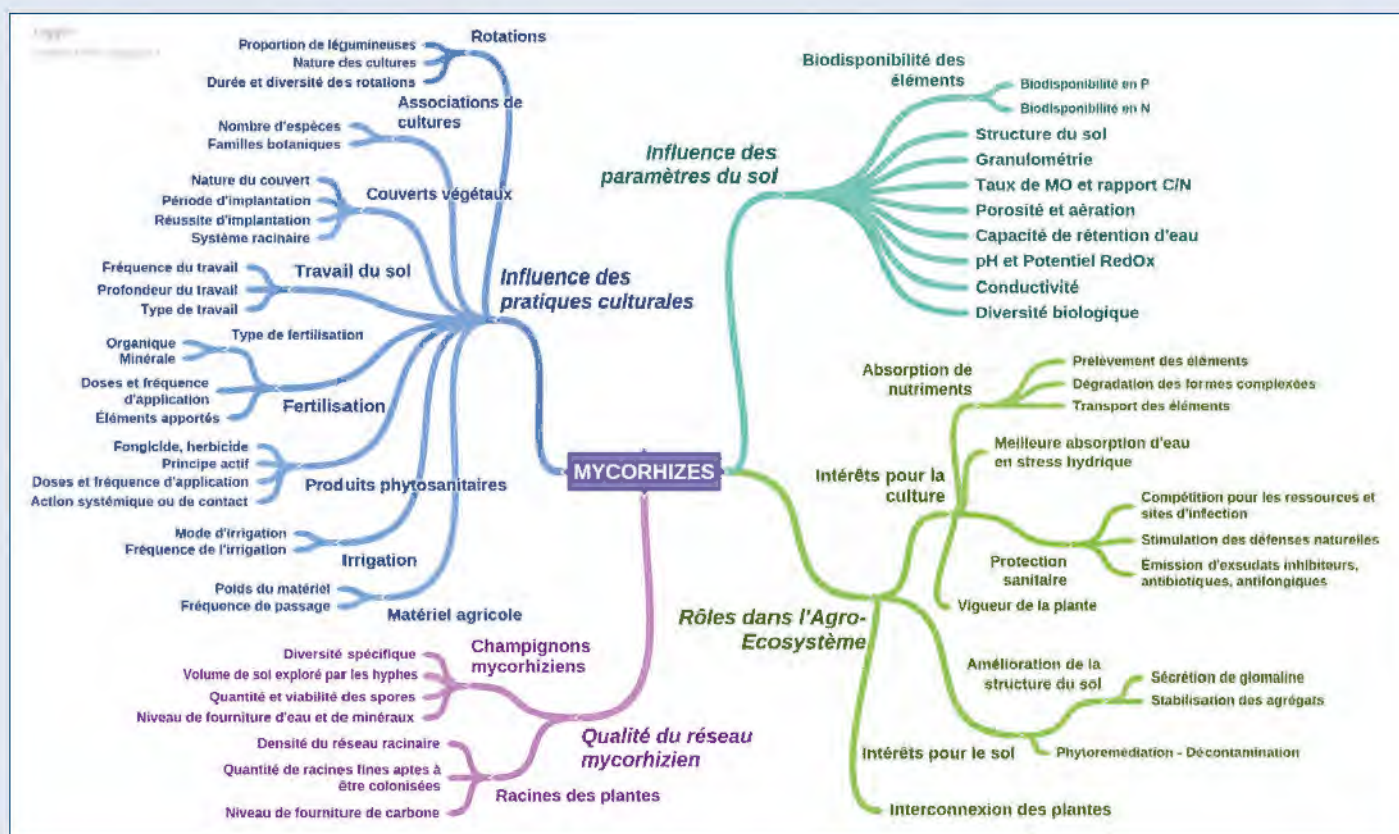
rhizes exogènes, qui ponctuellement peuvent se justifier, il est logique et préférable de limiter toutes les sources d'impacts négatifs et de maximiser les positifs. À ce niveau, l'AC semble très bien placée par la suppression totale ou partielle du travail du sol, la maximisation d'une couverture végétale diversifiée vivante, véritable relais à mycorhizes, associée à une diversité de cultures et si possible, de cultures associées

et/ou plantes compagnes. En complément, l'utilisation d'engrais organiques, à l'inverse des engrais minéraux, stimule globalement la vie du sol mais aussi la colonisation et l'efficacité des mycorhizes. Enfin, l'implantation d'espèces mycorhizogènes, comme les légumineuses, dans la rotation, en culture et/ou en couvert est très stratégique. Elles seront des relais à mycorhizes pour les plantes qui suivent : l'inoculum laissé par

De multiples axes de réflexion sur les phénomènes de mycorhization naturelle

La symbiose mycorhizienne est étroitement liée au concept de multifonctionnalité du sol, elle se retrouve impliquée dans les échanges d'eau et de sels minéraux, dans les dynamiques des communautés fongiques et bactériennes, dans la structuration du sol. Son fonctionnement demande de privilégier des pratiques culturales dans le sens de l'agroécologie.

Rôle des mycorhizes dans les agroécosystèmes et rôle des pratiques culturales





Quid de la localisation de la fertilisation ? Différence de levée de maïs en direct dans un couvert de féverole avec fertilisation localisée (14-48 sur les 4 rangs de droite). Comme pour le reste, la réponse est compliquée. Dans l'absolu, une localisation de fertilisation est défavorable, rend la future culture « faignante » et pénalise les réseaux mycorhiziens. Cependant, si une bonne alimentation précoce lui permet de se développer rapidement et d'augmenter sa capacité phosynthétique, ce coup de pouce peut être un mal pour un bien. Cet impact négatif ponctuel sera rapidement dépassé, à condition que le réseau mycorhizien soit performant et que l'ensemble des autres éléments favorables soient réunis. Encore une fois, on revient à l'approche globale !



Reprise de végétation du trèfle en plein été et par le sec alors que les repousses de colza (partie centrale) ont beaucoup de mal à se développer. La stratégie colza associé avec en complément un trèfle ou une luzerne est certainement un enchaînement très positif au niveau mycorhizien. Au-delà de l'accompagnement de la crucifère pendant le début de la culture par des légumineuses et autres plantes avec une production de biomasse supplémentaire, la continuité de la présence, même faible, d'une légumineuse pérenne tout au long de la culture permet certainement de conserver la symbiose active. C'est peut-être pour cette raison que les légumineuses repartent si rapidement en végétation dès qu'elles ont accès à de la lumière (énergie), juste après la récolte du colza. Enfin cette même légumineuse se développe ensuite dans des conditions généralement assez sèches l'été et souvent écrase complètement les repousses. Même si leur niveau de biomasse n'est pas toujours impressionnant, le développement racinaire est souvent disproportionné, très structurant et profond. Il serait logique qu'il s'appuie sur un système mycorhizien lui aussi surdimensionné pour subvenir aux besoins de ce puissant couvert végétal. Cette remarque vaut également pour toutes les légumineuses pérennes qui sont généralement des plantes d'été où les conditions de fourniture de fertilité ne sont pas toujours très favorables et a fortiori, à toutes les stratégies de couverts permanents ou semi-permanents de type CDI (couverts à durée indéterminée).



Colza associé en automne : des familles de plantes comme les crucifères ne sont pas mycorhizées et la culture du colza ou le positionnement de radis ou de moutarde en couverts est considéré comme un choix « dépressif » pour les mycorhizes. Premièrement, ce type de plantes a choisi une stratégie différente ; faire tout soi-même : l'indépendance. Ainsi et grâce à la finesse de leurs racines secondaires qui viennent admirablement compléter le pivot, souvent pris en référence, associées à de puissants exsudats racinaires, elles sont capables seules d'explorer le sol dans les moindres recoins et aussi très rapidement en profondeur. N'ayant pas besoin des mycorhizes, elles ne sont pas négatives ou « toxiques » mais ne leur cèdent pas de carbone pour les nourrir : elles les ignorent. Cependant, leur présence dans une parcelle, avec de surcroît des périodes non végétalisées avant et après, associée à du travail du sol, va automatiquement être dépressif. En revanche, c'est ici que les associations végétales dans les couverts mais aussi les stratégies de plantes compagnes en colza sont assez vertueuses, surtout en AC. Déjà, par l'absence de travail, elles ne sont pas agressives sur ces champignons symbiotiques. Ensuite elles permettent de maintenir et même de développer des systèmes mycorhiziens complémentaires et actifs grâce aux légumineuses et les autres plantes mycorhizées tout en stimulant, par une compétition plus âpre sur les ressources (eau et nutriments), l'ensemble des moyens que peuvent aussi mettre en œuvre les crucifères pour s'alimenter. La diversité vient alors jouer positivement et comme toujours renforcer la mobilisation et le recyclage de la fertilité, contribuant à ce que nous présentons plus communément comme la croissance du volant d'autofertilité.

Mycorhizes et séquestration du carbone : l'approche de C. Jones, agronome australienne

Le carbone humifié diffère physiquement, chimiquement et biologiquement du stock labile de carbone organique qui se forme normalement dans les sols agricoles. Ce dernier provient principalement des apports sous forme de biomasse (comme les résidus de récolte) qui se décomposent assez facilement. À l'inverse, la plus grande partie du carbone humifié provient de l'exsudation directe et du transfert de carbone liquide des racines des plantes aux champignons mycorhiziens et autres micro-organismes symbiotiques ou associatifs. « L'environnement biologique favorable à la formation d'humus est communément associé à des pratiques agro-écologiques qui gardent le sol couvert tout au long de l'année. » Cette humification est aussi possible dans des systèmes de cultures annuels, pourvu que les intercultures de longue durée soient évitées, que le sol reste couvert en permanence et que des engrais biologiquement favorables soient utilisés plutôt que des produits aux effets anti-microbiens. Passer de plantes annuelles à des plantes pérennes peut doubler les niveaux de carbone dans un temps relativement court. Ceci n'est guère surprenant étant donné que « la photosynthèse et "l'auto-route mycorhizienne du carbone" sont les facteurs les plus importants pour la formation du sol ».

une plante (en N - 1) influencera positivement la culture suivante. Cet effet sera d'autant plus fort que l'enchaînement peut se faire « du vert dans le vert ». Ainsi les jeunes plantules n'auront pas, en plus de financer leur développement végétatif, à pourvoir à la reconstruction du réseau mycorhizien. Elles pourront s'y brancher très rapidement pour en percevoir tous les

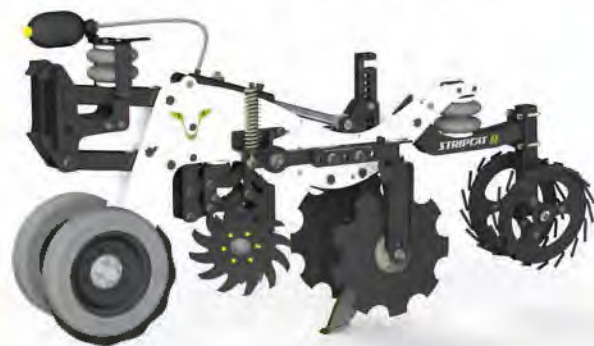
bénéfices, à condition d'alimenter le système en carbone liquide ! Comme nous venons de le voir, il ne suffit pas d'éliminer un seul élément négatif (travail du sol ou phyto par exemple) pour favoriser un réseau mycorhizien performant. Avant tout, il convient de développer une approche globale et cohérente, maximisant les facteurs positifs et minimisant les négatifs.



STRIPCAT II

Dans un contexte agricole incertain, la sécurisation des implantations et des marges devient indispensable.

La conservation des sols aussi.
La solution ? Passez au Strip-till !



Sécurisez : Strip-tillez

- ✓ Élément de semis sur balancier
- ✓ Simple ou double rang
- ✓ Pour colza et couverts



05 53 40 32 95
www.slyfrance.com



CHAMPIGNONS MYCORHIZIENS ET SYMBIOSE MYCORHIZIENNE

DEUXIÈME PARTIE : LE PROJET MYCOAGRA OU COMPRENDRE L'EFFET DES PRATIQUES AGRICOLES SUR LA MYCORHIZATION NATURELLE

Porté par la chambre d'agriculture de la Dordogne, le projet de recherche appliquée Mycoagra met l'accent sur la prise en compte des mycorhizes dans les itinéraires culturaux. Plus précisément, il vise à étudier les phénomènes de mycorhization en culture de noyer et de maïs sur un périmètre comprenant la Dordogne, le Lot et la Corrèze. L'originalité est que les expérimentations sont conduites chez des agriculteurs impliqués dans des démarches d'agriculture de conservation des sols et d'autonomie alimentaire pour leurs élevages.

La finalité de ce projet est de décrypter le lien entre pratiques culturales et mycorhization en regardant le potentiel de l'AC. L'objectif étant de fournir des préconisations de pratiques culturales pour favoriser le développement et la diversité des communautés de champignons mycorhiziens. Plus globalement, les études menées dans Mycoagra sont l'occasion d'appréhender la complexité des phénomènes au champ qui induisent ou découlent de la mycorhization et de comprendre leurs interactions.

Un dispositif expérimental dans des parcelles « agriculteur »

L'échantillonnage de parcelles d'agriculteurs analysées en 2017 porte sur plusieurs modalités avec chaque fois quatre répétitions :

- des parcelles de noyers en conventionnel (engrais chimiques et traitements)



Mycoagra est un partenariat entre la recherche fondamentale (Inra de Dijon UMR Agroécologie, Muséum naturel d'histoire naturelle), des agriculteurs innovants et des spécialistes de l'expérimentation (CTIFL, Institut Lasalle, Station de la Noix de Creysse) et de l'enseignement (trois lycées agricoles impliqués). L'organisation est originale et les compétences de chacun sont mutualisées à l'instar du sujet d'étude : en réseaux interactifs d'échanges et de complémentarités.

- des parcelles de noyers en conventionnel avec couvert végétal ;
- des parcelles de noyers en conventionnel avec couvert végétal (féverole en couvert principal) ;
- des parcelles de noyers en AB sans couvert végétal ;

- des parcelles de noyers en AB avec couvert végétal ;
- des parcelles associant noyer et maïs en interrang (agroforesterie) ;
- des parcelles de maïs en semis direct sous couvert de légumineuses avec ou sans traitement fongique des semences (impact des traitements de semences sur les mycorhizes).

Les premiers résultats d'analyse moléculaire concernent les parcelles en noyers selon les différentes modalités, les mesures sur les parcelles en maïs étant encore en cours d'analyse.

Grâce à la puissance des techniques de séquençage haut débit disponibles aujourd'hui, l'équipe de l'Inra de Dijon a pu ainsi isoler et amplifier l'ADN des racines

des cultures (noyer et maïs) et des couverts (dédiés ou spontanés) pour déterminer les différentes espèces de champignons mycorhiziens présentes. Les espèces ou les groupes taxonomiques révélés sont désignés par des « OTU (unité taxonomique opérationnelle) », dont les individus sont phylogénétiquement proches. Leurs séquences d'ADN présentent au minimum 97 % d'homologie.

Premier constat : une diversité de champignons endomycorhiziens insoupçonnée

Au niveau de l'ensemble des modalités, 543 OTU différentes ont été identifiées avec 265 OTU retrouvées sur toutes les modalités et malgré des caractéristiques de sol assez hétérogènes qui laissent supposer qu'elles sont assez universelles. Ce chiffre dépasse largement les 200 à 250 espèces de CMA possibles de différencier par observation directe au microscope. Cette discrimination exhaustive est permise grâce aux techniques de séquençage ADN. Avec 43 % des espèces, le genre *Glomus* est le plus représenté. Certaines espèces de champignons sont dominantes tandis que d'autres se retrouvent en proportion plus faible, mais toutes ont un rôle à jouer dans la nutrition des plantes. Par exemple, selon les groupes de CMA, les flux de nutriments échangés entre plante et champignon peuvent être plus ou moins intensifs, ce qui

SCALPEZ 100% SEMEZ

TREFFLER
MASCHINENBAU

stecomat.com - 05 53 98 01 10

va conditionner la production de biomasse végétale. Au-delà de l'impact sur l'apport de nutriments, l'évolution des

communautés fongiques dans les sols est étroitement liée à des phénomènes de compétition pour les ressources entre

espèces de champignons, les mycorhiziens pouvant prendre la place de certains pathogènes.

tation. Le même constat est fait pour les racines de la couverture végétale (semée ou spontanée) : la diversité des champignons mycorhiziens est améliorée en présence de couverts végétaux contrôlés.



Autour du projet Mycoagra se sont réunis des acteurs de la recherche agronomique appliquée, de l'enseignement agricole et du développement agricole. L'organisation est originale et les compétences de chacun sont mutualisées à l'instar du sujet d'étude : en réseaux interactifs d'échanges et de complémentarité.

- Utiliser la puissance des techniques de biologie moléculaire pour identifier les CMA (champignons mycorhiziens à arbuscules) par le laboratoire de l'Inra de Dijon.
- Tirer profit des compétences de pédagogie des organismes de l'enseignement agricole pour diffuser les connaissances acquises dans le projet auprès de futurs agriculteurs par Unilasalle Rouen et les lycées agricoles.
- Intégrer des agriculteurs intéressés et praticiens de l'AC pour rester accroché aux contextes agronomiques et productifs.
- Toucher des publics d'agriculteurs en recherche d'innovations techniques, via les réseaux de l'Afaf, de Base et de la revue TCS.



Alors que l'impact très négatif du travail du sol sur les mycorhizes est bien documenté comme celui des fongicides d'ailleurs, les premiers résultats de cette étude originale viennent étayer nos observations et intuitions. Une rupture de végétation vivante qui relargue dans le sol du carbone impacte négativement cette vie fine et encore secrète mais indispensable. Ainsi les couverts végétaux d'inter-

culture, même pendant une période de repos végétatif, comme ici en noyer, sont indispensables pour fournir un relais de photosynthèse et conserver ses réseaux mycorhiziens actifs. Ainsi la culture, au printemps suivant, pourra profiter rapidement de cette symbiose potentielle sans avoir à financer son redéploiement. Outre ce passage de relais au niveau de l'alimentation du sol en carbone liquide, les couverts végétaux, par leur beaucoup plus grande diversité de plantes, vont permettre d'enrichir encore plus cette diversité biologique dans le sol qui commence à être mis à jour avec Mycoagra. Penser que l'on peut retrouver près de 550 types de champignons mycorhiziens dans certains sols avec un « cœur mycorhizien » de 150 fait complètement voler en éclats nos notions de diversité. Cet aspect est d'autant plus important lorsque l'on imagine que chaque type de mycorhize apportera des fonctionnalités générales mais également très spécifiques en termes d'alimentation, de protection et/ou de stimulation biologique. Avec ces premiers résultats, dans des parcelles agriculteurs, nous commençons donc à vraiment imaginer la puissance et l'intérêt de cette dynamique vivante dans les sols, alimentée par la photosynthèse, et sentir la force et la cohérence de l'agriculture de conservation à ce niveau.



Les chercheurs ont prélevé des racines de la culture et des racines de la couverture végétale (implantée ou spontanée) ainsi que le sol rhizosphérique qui entoure la racine. Au total 238 échantillons ont été analysés.

Les couverts joueraient le rôle de relais pour le maintien des champignons mycorhiziens

En période hivernale, les noyers ralentissent leur métabolisme et cela freine également les flux de substances carbonées dans les vaisseaux de la plante mais également vers les associations symbiotiques qui se retrouvent de fait beaucoup moins sollicitées. Dans ces conditions, le maintien des champignons mycorhiziens sous forme d'hyphes est compromis. Certaines espèces de champignons capables de s'associer à la fois aux noyers et à des espèces semées comme couvert végétal pourraient profiter de la fourniture en carbone par ces plantes actives pendant cette période de creux végétatif des arbres. Maintenir la présence de végétaux actifs en continu pourrait ainsi permettre le maintien fonctionnel des hyphes des CMA et la stimulation permanente des spores. D'autre part, les légumineuses (dans cette expérimentation, la féverole) souvent intégrées dans les couverts, sont réputées pour leur influence positive sur la mycorhization. Toutefois les études concernant l'influence des couverts végétaux spécifiquement sur les mycorhizes sont rares et les mécanismes restent à expliciter.

Roues et Rouleaux Caoutchouc pour le travail des terres agricoles.

FARMFLEX BY OTICO

Tél : + 33 (0)1 64 08 85 99

Since 1971 **OTICO** www.otico.com

Les perspectives du projet

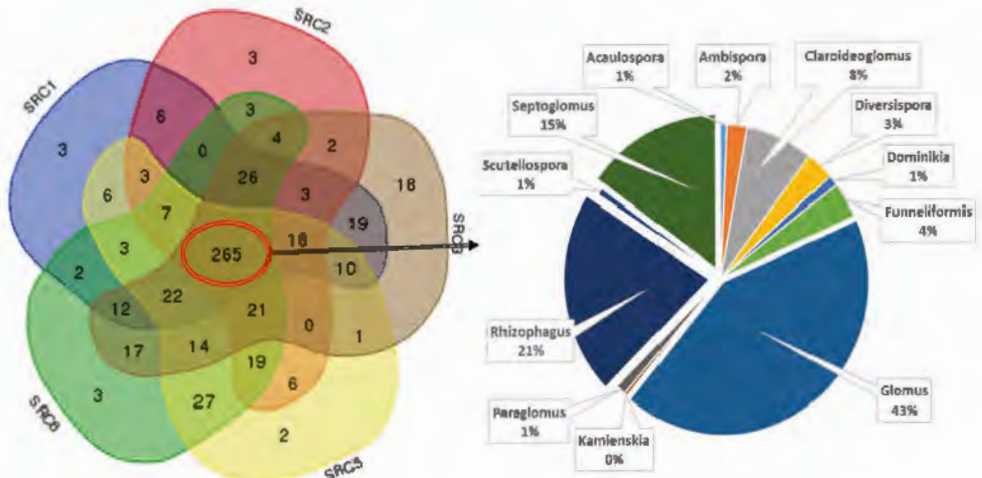
À ce jour, beaucoup d'études ont été réalisées sur l'impact du travail du sol sur les mycorhizes mais l'intérêt des couverts végétaux manquait et manque encore de références. Leurs effets bénéfiques sur la colonisation par les CMA ont été montrés sur des cultures annuelles (ex : soja en TCS avec orge d'hiver en couvert).

Qu'en est-il en productions arboricoles comme le noyer ? La deuxième année d'expérimentation du projet Mycoagra va donc mettre l'accent sur cet effet potentiel des couverts végétaux en interculture comme relais pour les mycorhizes en noyeraie. Il s'agira de mettre en relation les résultats de diversité en CMA avec le type de couvert végétal (espèces semées et flore adventice) et avec les paramètres du sol. Les partenaires de Mycoagra réfléchissent aussi au développement de proxy-indicateurs pour repérer facilement le développement de mycorhizes.

L'amélioration de l'absorption des nutriments, le renforcement de la tolérance aux stress hydriques et le développement d'une auto-protection vis-à-vis des principales maladies sont suffisamment d'arguments pour que l'on considère beaucoup mieux les mycorhizes.

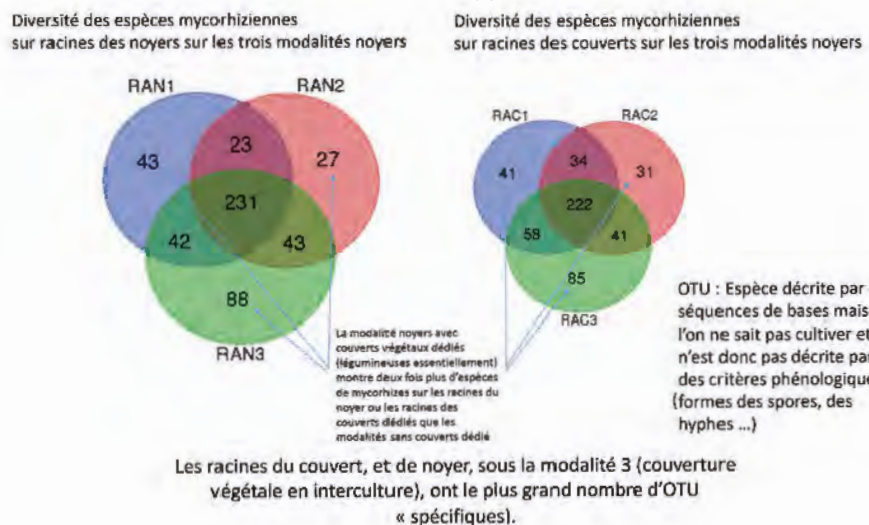
Quoi qu'il en soit, l'AC, en préservant l'environnement sol, tout en maximisant une couverture permanente par

DIAGRAMME DE VENN ILLUSTRANT LA DIVERSITÉ DES CHAMPIGNONS MYCORHIZIENS EN SYSTÈME SOUS COUVERTURE VÉGÉTALE



Les premiers résultats obtenus par les chercheurs de l'UMR Agroécologie de Dijon, via une analyse comparative des communautés, montrent la présence d'une communauté « cœur » de champignons mycorhiziens malgré des caractéristiques physico-chimiques parfois très hétérogènes et des modes de gestion différents entre les parcelles. Ce « cœur » est constitué de 265 groupes taxonomiques (sur un total de 543 identifiés) regroupés en 12 genres. Par ailleurs, 59 de ces groupes ne sont pas retrouvés en l'absence de couvert. Ainsi il semble qu'il existe une communauté mycorhizienne assez solide et récalcitrante qui arrive à survivre quelles que soient les conditions mais la présence d'un couvert favorise une plus forte diversité des CMA.

DIVERSITÉ SPÉCIFIQUE DES CHAMPIGNONS MYCORHIZIENS COLONISANT LES RACINES DE NOYER (RAN) ET LES RACINES DU COUVERT VÉGÉTAL (RAC) SOUS LES 3 MODALITÉS « NOYER CONVENTIONNEL » (1), « NOYER AB » (2) ET « NOYER AVEC COUVERTURE VÉGÉTALE EN INTERCULTURE » (3)



Les sphères intersectées indiquent le nombre d'espèces communes retrouvées dans deux ou trois des modalités. Les sphères indépendantes indiquent le nombre d'espèces spécifiques à la modalité concernée. On note plus du double d'espèces de champignons mycorhiziens spécifiques pour la modalité 3 (avec couverture végétale) : 88 colonisant les racines de noyers et 85 colonisant les racines de couverts.

ROLOFACA

3 versions Ø580mm, 740mm, 830mm
Lames hélicoïdales biseautées ou non
Poids : 300kg à 680kg au mètre (sans lestage)
Largeur : de 1m à 7m

www.gregoireagri.com

Tel : 02 51 81 56 61 & 06 71 20 76 02
44390 SAFFRE gregoireagri@free.fr

une végétation vivante et diversifiée, va certainement dans le bon sens. Cependant et à l'instar de Mycoagra, il est instaurant d'étendre les recherches au champ sur les mycorhizes mais aussi sur l'ensemble de la vie du sol afin de mieux appréhender les interactions avec les végétaux que nous cultivons mais aussi de mieux percevoir les impacts des pratiques agricoles. Ces informations seront stratégiques pour encore mieux gérer cette face dis-

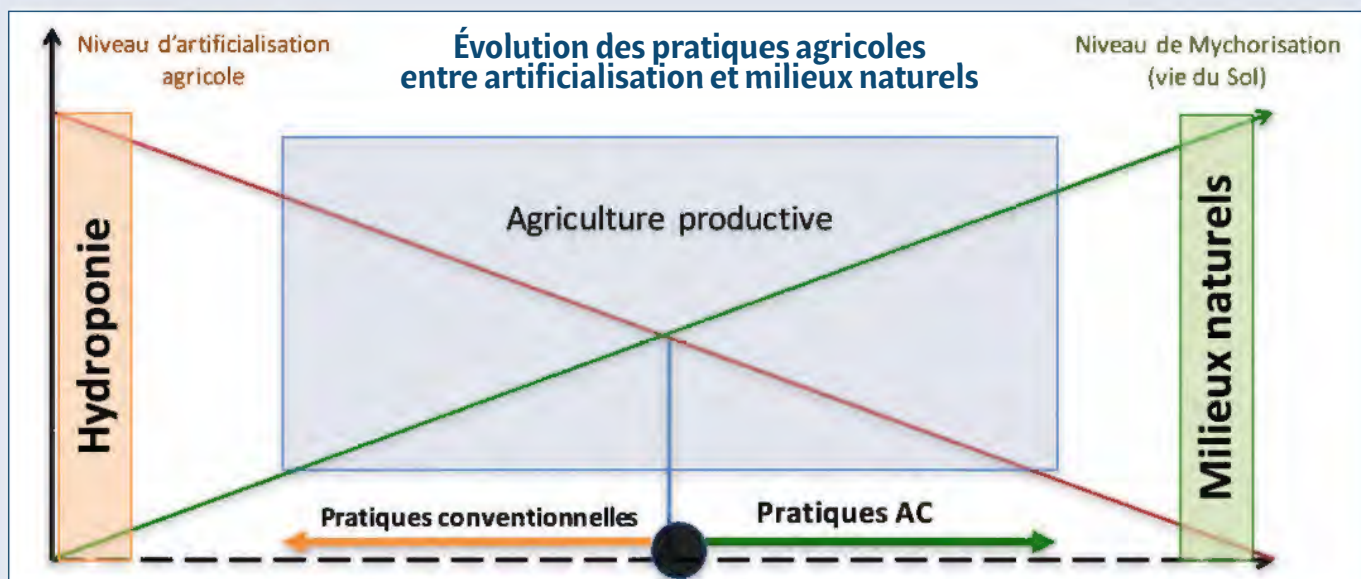
crète et cachée de l'activité biologique de nos sols et surtout de s'appuyer encore plus sur ces fonctions symbiotiques pour continuer de monter en efficacité, en résilience et aussi en qualité des produits issus de l'AC.

Frédéric THOMAS,
François HIRISSOU (CA 24), Violette AURELLE (élève ingénieur Ensat) et les chercheurs de l'Inra de Dijon et l'université de Bourgogne : Daniel WIPF, Diedrik VAN TUINEN, Pierre-Emmanuel COURTY et Leonardo CASIERI, ainsi que l'appui de Cécile WALIGORA.

Mieux « cultiver » les RMC pour mieux en profiter

Comme le montre l'étude Mycoagra présentée dans ce dossier, une partie des mycorhizes est très résistante et a réussi/appris à résister à nos pratiques agricoles qui peuvent être agressives et très perturbantes. Les ignorer, comme ça a été le cas pour les vers de terre, est une erreur grave. Verser dans l'idéalisme et leur accorder toutes les vertus et entre autres, la capacité de nourrir les cultures dans toutes les conditions et même de les protéger de tous les ravageurs en toutes situations, revêt de beaucoup d'utopie. La mycorhization est avant tout une symbiose consentie par la majorité des végétaux pour compléter leurs modes d'exploration du sol. En revanche le financement de ce service a un coût énergétique. C'est pour cette raison qu'un apport d'engrais, même dans un sol correctement pourvu, apportera toujours un bénéfice de production. Comme la culture dépensera moins d'énergie pour trouver sa nutrition minérale, elle pourra consacrer l'énergie économisée à plus de feuilles, de grains et donc plus de production. Ce constat, comme pour le travail du sol, est une forme de leurre sur lequel repose une bonne partie des pratiques agricoles actuelles. À l'inverse, si les ressources

sont rares, la plante va consacrer beaucoup d'énergie pour mobiliser les éléments, financer un puissant réseau mycorhizien mais aussi des exsudats racinaires. Elle sera certainement plus résistante mais le niveau de production sera fortement réduit. Les mycorhizes ne font pas tout et ne feront pas tout. En agriculture, il faut trouver le bon équilibre tout en cherchant à s'appuyer le plus possible sur du vivant et entre autres, les réseaux mycorhiziens. En plus d'apporter un complément en matière de fertilité, ils sont stratégiques pour l'eau mais aussi indispensables pour assurer une végétation en meilleure santé. En fait les mycorhizes peuvent être vues comme des réseaux interconnectés que les plantes peuvent activer en fonction de leurs besoins et des variations des conditions de milieux. En plus de compléter l'action racinaire, cette symbiose complexe renforce le pouvoir tampon du sol et apporte beaucoup de flexibilité et de résilience à nos systèmes de production. C'est donc aujourd'hui tout l'enjeu de l'AC, déjà très performante à ce niveau, de mieux comprendre le fonctionnement de cette collaboration souterraine discrète mais indispensable, pour mieux la cultiver et en profiter.



Comparaison entre deux pots d'une même terre et association de culture identique au Leva d'Angers. C'est, contrairement à l'intuition classique, le pot où le sol a subi une stérilisation thermique que la culture se développe très bien alors que la terre « encore vivante » est moins productive. Cette illustration démontre tout le paradoxe sur lequel repose la production agricole depuis ses origines. Les agriculteurs brûlent, grattent, retournent et triturent le sol, même si ces opérations leur demandent beaucoup d'efforts et d'énergie (labour et labour sont étymologiquement liés) car ils ont toujours constaté que leurs cultures poussaient mieux. En revanche et sans le savoir, le niveau de productivité immédiat est étroitement lié au niveau d'agressivité et de destruction de la vie biologique du sol et des mycorhizes. C'est leur élimination et leur décomposition rapides qui financent ce flash de fertilité. Cette approche est, bien entendu, très exploitante du milieu et non durable sans aborder les autres aspects négatifs qui peuvent s'ajouter, comme l'érosion. À l'inverse les situations naturelles sont très stables et certaines très actives en activité biologique, symbioses diverses et réseaux mycorhiziens mais peu productives. À nous, agriculteurs, agronomes et chercheurs de développer, à la vue de nos connaissances mais aussi de notre savoir-faire en AC, ce compromis habile et de le faire évoluer vers moins d'agression et plus d'appui sur les fonctionnalités du vivant.

Zuidberg Tracks

- ✓ Pour automoteurs et tracteurs
- ✓ Réduction de la pression au sol
- ✓ Meilleure traction et stabilité
- ✓ F-Frame : intégration optimale
- ✓ C-Frame : polyvalence

HB

Contactez-nous
01 64 70 51 41 - www.h-b.fr

