

# Valoriser les ressources microbiennes des sols pour satisfaire les objectifs de développement durable



Robin DUPONNOIS

Robin Duponnois, microbiologiste, titulaire d'un doctorat obtenu en 1992 à l'Université de Lorraine, est directeur de recherche à l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) et Directeur du Laboratoire des Symbioses Tropicales et Méditerranéennes (UMR CIRAD/INRA/IRD/SupAgro/UM) localisé à Montpellier.

Ses travaux portent sur le rôle de la symbiose mycorhizienne dans la productivité et la stabilité des agro-écosystèmes en milieu tropical et méditerranéen, qu'il a particulièrement développés en Afrique de l'Ouest, du Nord et à Madagascar. Il atteste de 601 références scientifiques dont 157 articles de rang A, 42 articles non indexés, 58 chapitres d'ouvrage, 6 ouvrages, 326 communications orales ou affichées et 12 brevets. H-index: 25.

Membre correspondant de l'Académie d'Agriculture de France (Session V « Interactions milieux-êtres vivants ») depuis janvier 2017.  
Président du Comité Scientifique Français de la Désertification (CSFD) depuis avril 2017.



Yves PRIN

Yves Prin est chercheur au Centre de Coopération Internationale pour la Recherche Agronomique et le Développement (CIRAD), à Montpellier. Microbiologiste des symbioses plantes-microorganismes, il dirige au sein du Laboratoire des Symbioses Tropicales et Méditerranéennes une équipe d'une dizaine de chercheurs sur les Réseaux et Interactions Symbiotiques dans les éco- et Agrosystèmes (RISA) (<https://umr-lstm.cirad.fr/l-unite>). Il est auteur de plus de 120 articles dans des journaux à comité de lecture sur des thématiques d'écologie microbienne et de mise en place des symbioses ([https://www.researchgate.net/profile/Yves\\_Prin/contributions](https://www.researchgate.net/profile/Yves_Prin/contributions)).

## ■ Introduction

### La Révolution Doublement Verte

La « Révolution Verte » avait pour principal objectif d'optimiser la productivité agricole en recommandant une agriculture industrialisée (ex: utilisation de variétés améliorées, d'engrais et de produits phytosanitaires, etc). Des résultats probants ont été obtenus en termes de réduction notable de la pauvreté dans de nombreuses régions du globe. Toutefois, ces pratiques entraînaient des dégradations profondes dans les caractéristiques environnementales (pollution des sols, pertes de biodiversité, etc.) aboutissant au constat indéniable qu'un modèle alternatif devait être rapidement identifié *via* une approche écologique et environnementale de la production agricole. Le concept de « Révolution Doublement Verte » a été proposé pour répondre aux objectifs de la « Révolution Verte » (Productivité optimale des agrosystèmes) et ceux visant à réduire l'empreinte environnementale des pratiques agricoles actuelles. Ceci a abouti à définir un défi majeur pour l'agriculture de demain, à savoir *produire plus avec moins* afin: (i) d'assurer la sécurité alimentaire d'une population mondiale

robin.duponnois@ird.fr  
yves.prin@cirad.fr

en constante expansion démographique, (ii) de minimiser ses impacts environnementaux, (iii) d'avoir un rôle prépondérant dans les processus d'adaptation aux changements globaux et (iv) d'être le creuset de recherches et d'innovations pour la bio-économie en exploitant largement la biomasse végétale et animale.

### Les ressources microbiennes du sol: un potentiel pour améliorer les performances des systèmes de culture agroécologiques

Différentes stratégies culturales ont été proposées pour répondre à ces impératifs comme la gestion du couvert végétal (ex: systèmes agroforestiers) ou l'optimisation des ressources fourragères dans les pratiques agropastorales. Parmi cet ensemble de voies d'actions figure également la valorisation des ressources microbiennes du sol. L'utilisation de la diversité des microorganismes telluriques en tant qu'agents biologiques promoteurs de la croissance des plantes a été particulièrement étudiée au cours de ces dernières années (Philippot *et al.*, 2013). Ce microbiote évoluant en étroites interactions avec la plante affecte les traits majeurs de l'hôte, comme la production de biomasse (Sugiyama *et al.*, 2013). Considérant les potentialités utiles de ces ressources microbiennes pour les plantes, de nombreux travaux ont été réalisés afin d'identifier les microorganismes issus de la rhizosphère et/ou de la phyllosphère susceptibles d'être impliqués dans les mécanismes régissant le développement de la plante hôte et/ou son état phytosanitaire (Maignien *et al.*, 2014).

### Les champignons mycorhiziens: des acteurs majeurs dans les mécanismes régissant la productivité et la stabilité des agrosystèmes méditerranéens

Les champignons mycorhiziens sont des composantes clés dans le fonctionnement des sols en étant impliqués dans le déterminisme biologique des principaux cycles biogéochimiques assurant le maintien de la fertilité des sols (Requena *et al.*, 2001). La symbiose mycorhizienne stimule la croissance de la plante, en améliorant sa nutrition minérale et son état sanitaire (Smith & Read, 2008). Elle agit également de manière quantitative et qualitative, sur la composition du microbiome tellurique, conduisant à la formation d'un compartiment microbien spécifique, communément nommé «mycorhizosphère» (Duponnois *et al.*, 2005). Enfin ces associations mycorhiziennes jouent un rôle majeur dans les processus biologiques (facilitation, plant-soil feedback) régissant l'évolution spatio-temporelle des écosystèmes. Dans les sols dégradés, le potentiel mycorhizien des sols (représentant l'abondance et la diversité

des propagules mycorhiziennes) est généralement faible (Duponnois *et al.*, 2001). Afin de l'enrichir et d'améliorer les impacts attendus de la symbiose mycorhizienne sur le développement de la plante, 2 stratégies ont été proposées (Fester & Sawers, 2011): (i) une approche de type «réductionniste» basée sur l'introduction en masse d'une souche fongique préalablement sélectionnée pour un paramètre donné ou (ii) une approche de type «holistique» en concevant un itinéraire cultural susceptible de promouvoir la multiplication des propagules mycorhizienne (Ex: rotation culturale céréale/légumineuse, culture mixte céréale/légumineuse).

### Quelques exemples de pratiques culturales agroécologiques basées sur la gestion du potentiel mycorhizien des sols

Les bases de l'agroécologie sont construites en se référant au concept de «biomimétisme», qui consiste à copier dans les itinéraires culturaux certains mécanismes biologiques régissant l'évolution spatio-temporelle, la productivité et la capacité de résilience des écosystèmes naturels. Nous illustrerons les potentialités de la symbiose mycorhizienne pour améliorer la productivité d'agrosystèmes méditerranéens *via* 2 approches:

- (i) une approche de type *réductionniste* ou *holistique* (association céréale/légumineuse en rotation culturale ou en culture mixte) sur le développement du blé dur (*Triticum turgidum* L. var *durum*) et sur le potentiel mycorhizien du sol, et,
- (ii) dans le cas d'une approche holistique, une pratique d'ingénierie écologique optimisant l'impact du couvert de légumineuses sur les paramètres précédemment cités en manipulant sa composition en termes de diversité végétale dans le cadre d'une rotation culturale.

### Impact de la gestion du potentiel mycorhizien des sols par une approche dite «réductionniste» sur le développement du blé dur

Une expérience au champ a été mise en place dans la vallée d'Haouz sur un site localisé à environ 30 km à l'ouest de Marrakech (31°4'60" N; 7°3'0" O, Maroc) afin de tester l'effet de l'inoculation d'un champignon mycorhizien arbusculaire, *Rhizophagus irregularis*, sur le développement du blé dur. L'effet de l'inoculation sur le développement du blé a été principalement observé après 2 années de culture avec une augmentation de + 22% pour la biomasse

totale, + 29% pour le nombre d'épis par hectare, + 8% pour le poids des 1000 graines. Ces augmentations résultant de l'inoculation de *R. irregularis* ont également été mesurées au niveau de la nutrition phosphatée des plants et sur la colonisation mycorhizienne des racines.

### Impact de la gestion du potentiel mycorhizien des sols par une approche dite «holistique» sur le développement du blé dur

Une deuxième expérience sur le même site a été réalisée afin de mettre en évidence l'impact d'une co-culture blé/fève ou d'une rotation culturale fève/blé sur le rendement d'une plantation de blé dur. Les effets significatifs sur le développement du blé ont été plus particulièrement observés en 2<sup>e</sup> année de culture principalement dans le cas de la culture mixte pour les paramètres de rendement. Les augmentations dans la culture mixte par rapport à la monoculture de blé étaient de + 46% pour le rendement total en biomasse, + 20% pour le nombre d'épis par hectare, + 55% pour le poids sec des épis par hectare et de + 21% pour le poids des 1000 graines alors que la rotation culturale n'a pas engendré d'augmentations significatives sur le développement du blé. Les 2 types d'itinéraires culturaux ont amélioré la nutrition en P des plants ainsi que l'établissement de la symbiose mycorhizienne par rapport à la monoculture de blé. La longueur des hyphes mycorhiziens était aussi plus importante dans les sols impactés par la rotation ou la co-culture suggérant un meilleur fonctionnement de la symbiose mycorhizienne.

### Optimisation de l'impact du couvert de légumineuses sur le potentiel mycorhizien des sols et la microflore microbienne utile pour la plante

Une expérience en serre a été réalisée en manipulant la diversité du couvert de légumineuses afin d'obtenir un couvert végétal présentant un gradient de diversité croissante. Les plantes ciblées étaient le pois, la fève et la luzerne et les différentes associations de plantes testées étaient les suivantes: fève (F), pois (P), luzerne (L), F + P; F + L; F + P + L. Après 6 semaines de culture dans des pots remplis par un sol prélevé dans le site expérimental de la vallée d'Haouz, les résultats ont montré que les profils cataboliques des sols des différents traitements (indicateurs de la diversité fonctionnelle de la microflore du sol) (Boudiaf *et al.*, 2013) étaient particulièrement corrélés au degré de diversité du couvert en légumineuses et que dans le traitement associant les 3 espèces ciblées, le sol était

colonisé par de nombreuses bactéries appartenant au groupe des *Pseudomonas*, fluorescents capables de promouvoir la mycorhization des plants de blé dur par *R. irregularis* en conditions contrôlées (Fig. 1).

## ■ Conclusions

Ces quelques résultats obtenus dans des travaux développés au Maroc en milieu aride apportent la preuve que la productivité d'un agrosystème cultivé en blé dur peut être augmentée en agissant sur certaines composantes microbiennes des sols comme le potentiel mycorhizien. Certaines de ces stratégies basées sur la gestion du couvert végétal peuvent donc être envisagées pour améliorer le fonctionnement de la symbiose au profit de la plante de grande culture. Ces approches réalisées *via* l'inoculation d'un symbiote fongique ou l'identification d'un itinéraire cultural polyspécifique doivent maintenant être évaluées en termes de faisabilité technique et selon des critères économiques.

Cette étude ouvre également des perspectives très prometteuses concernant le développement d'innovations culturales. En effet, ces résultats ont été obtenus avec des variétés de blé et de fève sélectionnées selon différents paramètres (vitesse de croissance, hauteur, etc.) mais en ignorant leur dépendance pour la symbiose mycorhizienne pour leur développement. Des travaux doivent être entrepris pour envisager la sélection de variétés présentant les propriétés requises pour bénéficier des atouts de la symbiose mycorhizienne, et ainsi valoriser pleinement les différentes stratégies visant à améliorer le potentiel mycorhizien des sols. ✨

## ■ Bibliographie

Boudiaf I., Baudoin E., Sanguin H., Beddiar A., Thioulouse J., Galiana A., Prin Y., Le Roux C., Lebrun M., Duponnois R., The exotic legume tree species, *Acacia mearnsii*, alters microbial soil functionalities and the early development of a native tree species, *Quercus suber*, in North Africa, *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 65, 2013, pp. 172-179.

Duponnois R., Founoune H., Masse D., Pontanier R., Inoculation of *Acacia holosericea* with ectomycorrhizal fungi in a semiarid site in Senegal: growth response and influences on the mycorrhizal soil infectivity after 2 years plantation, *Forest Ecology and Management*, vol. 207, 2005, pp. 351-362.

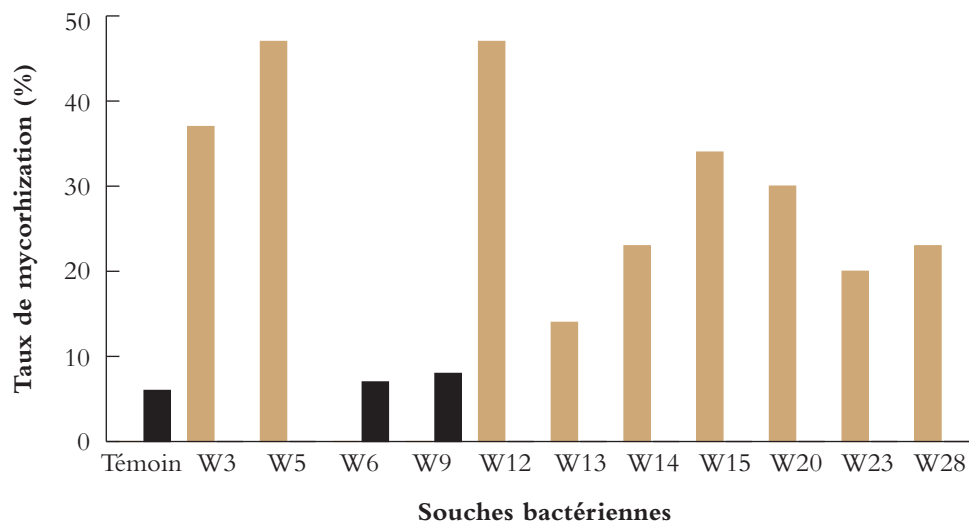


Figure 1. Effet des souches de *Pseudomonas* fluorescents sur l'établissement de la symbiose mycorhizienne entre le blé dur et le symbiote mycorhizien, *R. irregularis*, après 6 semaines de culture en serre. Les colonnes noires indiquent une différence significative par rapport au témoin d'après le test de Newman-Keul ( $p < 0,05$ ).

Duponnois R., Plenchette C., Bâ A.M., Growth stimulation of seventeen fallow leguminous plants inoculated with *Glomus aggregatum* in Senegal, *European Journal of Soil Biology*, vol. 37, 2001, pp. 181-186.

Fester T., Sawers R., Progress and Challenges in Agricultural Applications of Arbuscular Mycorrhizal Fungi, *Critical Reviews in Plant Sciences*, vol. 30, 2011, pp. 459-470.

Maignien L., Deforce E.A., Chafee M.E., Eren A.M., Simmons S.L., Ecological succession and stochastic variation in the assembly of *Arabidopsis thaliana* phyllosphere communities, *mBio*, vol. 5, 2014.

Philippot L., Raaijmakers J.M., Lemanceau P., Van Der Putten W.H., Going back to the roots: the microbial ecology of the rhizosphere, *Nature Review Microbiology*, vol. 11, 2013, pp. 789-799.

Requena N., Perez-Solis E., Azcon-Aguilar C., Jeffries P., Barea J.M., Management of indigenous plant-microbe symbioses aids restoration of desertified ecosystems, *Applied & Environmental Microbiology*, vol. 67, 2001, pp. 495-498.

Smith S., Read J., Mycorrhizal symbiosis, 3rd ed., Academic Press, San Diego, USA, 2008, 800 p.

Sugiyana A., Bakker M.G., Badri D.V., Manter D.K., Vivanco J.M., Relationships between *Arabidopsis* genotype-specific biomass accumulation and associated soil microbial communities, *Botany*, vol. 91, 2013, pp. 123-126.