

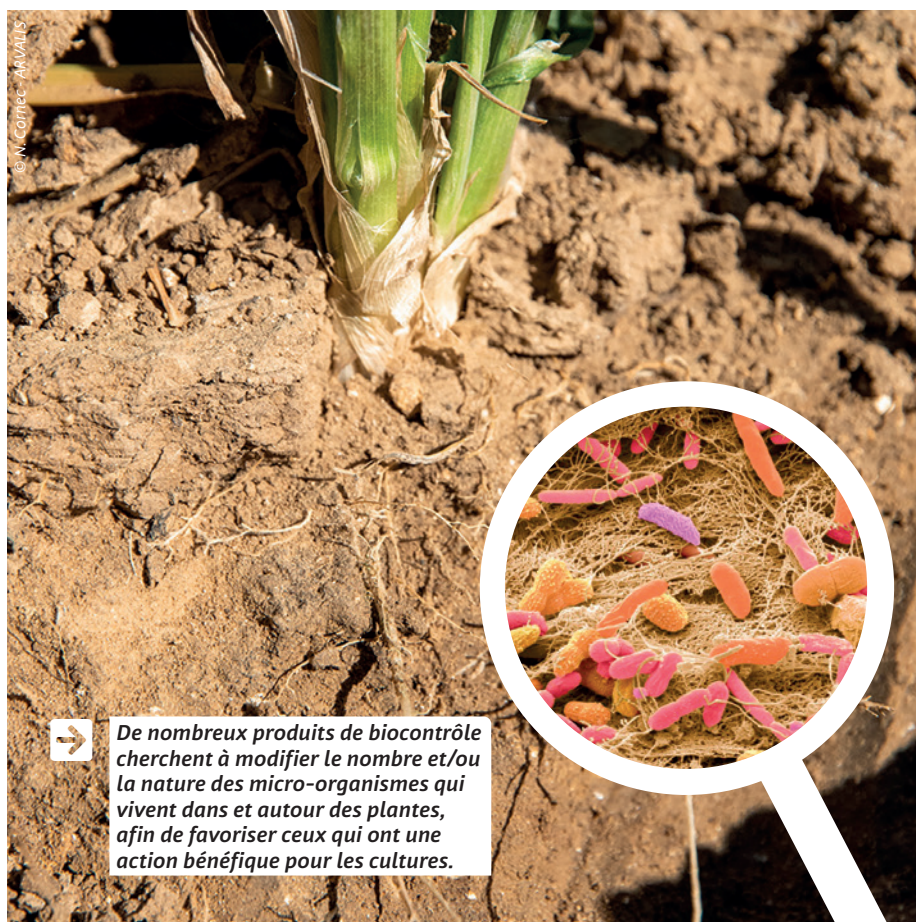
► SANTÉ VÉGÉTALE ET BIOCONTRÔLE

LE MICROBIOME

est-il la voie d'avenir ?

Paloma Cabeza-Orcel - p.cabeza@perspectives-agricoles.com◆ Claude Maumené - c.maumene@arvalis.fr

Si, face à une agression, les plantes sont incapables de fuir, elles peuvent recruter des micro-organismes chargés de les protéger des bioagresseurs ou de stimuler leur immunité. Les recherches de ces dernières années dévoilent à quel point le microbiome de la plante joue un rôle important pour la santé des cultures.



Parmi les interactions possibles entre espèces, la compétition, le parasitisme ou la prédation sont les plus souvent citées. Il existe pourtant de nombreuses interactions positives qui s'exercent au bénéfice des deux espèces : on parle de mutualisme, dont la relation symbiotique est un exemple. Entre individus d'une même espèce, on parlera de coopération ou d'entraide.

UN MONDE RÉCEMMENT DÉCOUVERT

Ces interactions positives s'exercent entre la plante hôte et son microbiome, c'est-à-dire l'ensemble des micro-organismes et leurs métabolites qui vivent dans la même niche écologique : autour des parties aériennes (épispère) et souterraines (rhizosphère) de la plante ainsi que dans ses tissus (endospère). On y trouve une très grande



De nombreux produits de biocontrôle cherchent à modifier le nombre et/ou la nature des micro-organismes qui vivent dans et autour des plantes, afin de favoriser ceux qui ont une action bénéfique pour les cultures.

MICROBIOME

Le microbiome est l'ensemble des micro-organismes vivant dans un environnement particulier, de leurs gènes et de leurs métabolites

RHIZOBIOME

Le rhizobiome est le microbiome propre au système racinaire

diversité biologique - notamment des bactéries, des champignons, des virus, mais aussi des archées et des protozoaires en très grandes quantités.

On dispose aujourd'hui d'outils puissants pour étudier les micro-organismes du microbiome des plantes, notamment le séquençage à haut débit et toutes les techniques « -omiques » (génomique, etc.). Ils permettent de décrire plus facilement ces communautés et les interactions s'exerçant entre elles et avec la plante, et de mieux d'explorer leur(s) fonction(s).

Retrouvés sur et à proximité des racines, sur et sous les feuilles ou même dans la plante, ces micro-organismes peuvent lui fournir différents services, qui vont d'un meilleur développement à une amélioration de sa nutrition, de sa résistance aux stress et de sa santé. Toutefois, certains des micro-organismes qui entourent la plante sont pathogènes (pathobiome), et d'autres sont néfastes pour les humains qui les consommeraient (contaminants alimentaires, telles les salmonelles ou *E. coli*). Ceux qui améliorent la santé végétale sont depuis peu l'objet de nombreux projets de recherche.

DES ANTIBIOTIQUES PRODUITS IN SITU

Certaines souches de bactéries et de champignons du rhizobiome ont été identifiées comme potentiellement bénéfiques pour les cultures ; elles peuvent aussi améliorer leur santé en protégeant la plante. Cette protection peut résulter d'effets directs : les micro-organismes bénéfiques agissent directement sur les pathogènes

ou les prédateurs. Ils peuvent aussi être indirects : dans ce cas les micro-organismes bénéfiques activent l'immunité de la plante qui fait face mieux et plus vite à une agression. Les produits de biocontrôle tentent d'exploiter ces propriétés aujourd'hui en tentant d'installer des micro-organismes bénéfiques.

Les bactéries bénéfiques les plus étudiées actuellement appartiennent aux genres *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Azospirillum* et *Streptomyces*. Ainsi, les genres *Pseudomonas* et *Bacillus* produisent chacun au moins cinq antibiotiques distincts. Les espèces fongiques les plus courantes appartiennent aux genres *Trichoderma*, *Penicillium*, *Fusarium* et *Phoma*.

PEUT-ON PILOTER LE MICROBIOME ?

L'idée derrière les recherches sur le microbiome des plantes est d'augmenter le nombre de ces micro-organismes bénéfiques au champ. Mais faut-il introduire une souche unique ou une combinaison de plusieurs souches ?

De nombreux produits de biocontrôle n'introduisent qu'une seule souche. Par exemple, une cinquantaine de produits font appel à l'une ou l'autre souche de cinq espèces de *Bacillus* - principalement *B. subtilis* et surtout *B. thuringiensis*. Mais des essais ont également mis en évidence l'intérêt d'inoculer des combinaisons de souches.

Ainsi, dans un essai étudiant la protection de la tomate contre *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* par biocontrôle, le compost de culture (stérile) a été inoculé avec un mix de 25 souches de *Bacillus*, qui ont diminué de moitié la « quantité » de maladie 22 jours après cette inoculation par rapport à un compost stérile. Ceci suggère que des combinaisons de bactéries pourraient être utilisées comme inoculum pour produire des composts avec les caractéristiques souhaitées, par exemple le contrôle biologique d'agents pathogènes ciblés.

Peut-on introduire via les semences une souche bactérienne bénéfique endophyte, c'est-à-dire qui pénètre dans les tissus mêmes de la plante ? Plusieurs expériences ont montré que cette stratégie était faisable et efficace. Ainsi, une équipe autrichienne a modifié le microbiome de semences de blés en pulvérisant sur la culture la souche modèle *PsJN* de la bactérie *Paraburkholderia phytofirmans*¹ au moment de la floraison des blés. Cette inoculation des grains en formation a modifié,

RHIZOBIOME PROTECTEUR : l'hypothèse de « l'appel à l'aide »

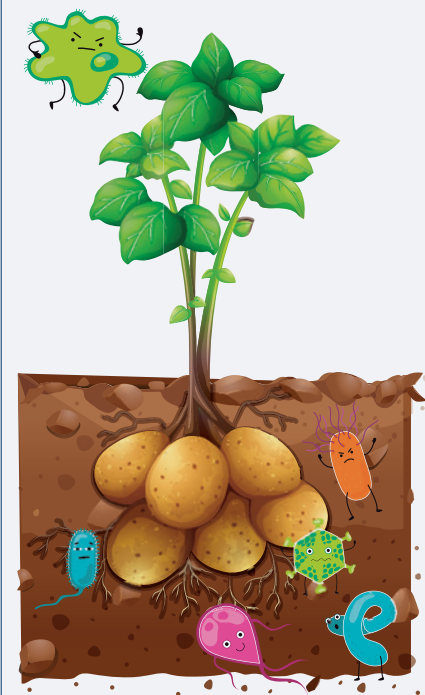


Figure 1

Interactions entre une plante agressée et son rhizobiome. La plante attaquée modifie la composition de ses exsudats racinaires - c'est l'appel à l'aide. Des signaux spécifiques issus de sa rhizosphère modifient la composition et l'activité du rhizobiome, qui devient protecteur par des mécanismes directs et indirects. Ces effets, hérités, peuvent profiter à la prochaine génération de plantes cultivées dans le même sol. D'après Rolfe et al. (2019).

(1) En laboratoire, cette bactérie améliore le rendement, l'équilibre ionique, les niveaux d'anti-oxydants et la concentration en protéines, azote, phosphore et potassium chez le blé.

L'enjeu est de manipuler au champ le microbiome des cultures - en inoculant le sol, voire les plantes elles-mêmes, avec un ou des mélanges de « bons » micro-organismes. On peut aussi modifier les propriétés du sol pour que ces organismes bénéfiques soient favorisés par un choix approprié de génotypes et de techniques de culture.



chez les blés issus de ces semences, la date de floraison et accru le nombre d'épis par m² au champ, démontrant ainsi la validité du concept.

Ce concept est théoriquement transposable pour protéger les plantes. La modification du microbiome de la semence par inoculation de micro-organismes bénéfiques à la floraison serait donc une voie pour installer des agents de biocontrôle plus efficacement au champ.

LE MICROBIOME PEUT ÊTRE MODIFIÉ PAR DES PRATIQUES AGRONOMIQUES

Une autre approche du biocontrôle est d'agir sur les conditions de culture pour favoriser le développement des espèces bénéfiques et désavantager celui des organismes dégradant la santé végétale.

L'une des moyens consiste à d'obtenir un sol dit suppressif - en capacité d'inhiber ou de limiter une maladie d'origine tellurique (fongique ou bactérienne) malgré la présence au champ de facteurs favorables (plantes-hôtes sensibles, conditions climatiques ou environnementales favorables aux agents pathogènes...). Les sols suppressifs sont très étudiés car ils constituent des modèles naturels de répression des agents pathogènes du sol. Les travaux cherchent en particulier à mieux les comprendre pour pouvoir transférer ces propriétés de résistance à des sols sensibles et les transformer en sols suppressifs.

Plusieurs leviers agronomiques peuvent modifier le caractère suppressif ou non d'un sol et, par conséquent, le rhizobiome des plantes qui y sont cultivées. C'est le cas de la rotation. Par exemple, des essais d'Arvalis à Aulnay-aux-Planches (61) ont montré que la nuisibilité du piétin-verse est modifiée selon que le blé est en monoculture, vient après une betterave ou qu'un couvert de moutarde est semé à l'interculture entre deux blés.

La modification chimique du sol par des fertilisants ou des amendements influence également la suppressivité du sol, elle-même sous la dépendance du pH de la rhizosphère. Des essais d'Arvalis à Bignan (56) ont montré (à quantité d'azote apportée égale) que l'intensité du piétin-échaudage était deux fois plus forte quand on apportait de l'ammonitrate plutôt que du sulfate d'ammonium. Par ailleurs, cette maladie se développe davantage lorsqu'un amendement basique est apporté (qui augmente le pH du sol), et ce d'autant plus qu'on épand de la chaux, à action rapide, plutôt que du carbonate broyé.

SÉLECTIONNER DES VARIÉTÉS FAVORISANT LES MEILLEURS MICROBIOMES

La variété de tomate Hawaii 7996 est résistante à l'agent pathogène du sol *Ralstonia solanacearum*, responsable de la maladie du flétrissement, alors que la variété MoneyMaker y est sensible. Leurs rhizobiomes sont-ils différents, mais quel rôle jouent-ils dans la résistance à la maladie ? Pour le savoir, des chercheurs ont cultivé en laboratoire² plusieurs plants de chaque variété dans un même substrat initial. Après un certain temps, des plants de la variété sensible sont transplantés dans le substrat où a poussé la variété résistante, et inversement. Après inoculation avec l'agent pathogène, on constate que les plants de la variété sensible MoneyMaker sont moins malades lorsqu'ils ont été transplantés dans un sol préalablement cultivé avec la variété résistante Hawaii 7996, par rapport à un sol préalablement cultivé avec la variété sensible MoneyMaker. Inversement les plants de la variété résistante Hawaii 7996 sont plus malades lorsqu'ils ont été cultivés dans un sol préalablement cultivé avec MoneyMaker, par comparaison à un sol préalablement cultivé avec Hawaii 7996.

En résumé la variété résistante Hawaii a



imprimé dans le sol une forme de « résistance » qui s'avère durable et transmissible. L'analyse des microbiomes montre que les flavobactéries sont beaucoup plus abondantes dans le rhizobiote de Hawaii. Une souche, en particulier (TRM1), supprime le développement de la maladie en conditions contrôlées. Le microbiome du substrat est donc « façonné » par les variétés : la variété résistante favorise la colonisation de ses racines par des bactéries bénéfiques. D'une certaine façon elle recrute, sans doute grâce à ses exsudats racinaires, des alliés qui lui permettront de mieux se défendre.

Ces exemples illustrent très partiellement les nombreux aspects du rôle joué par le microbiome dans la santé végétale. La recherche se poursuit, notamment pour Arvalis qui participe à deux projets en lien avec la valorisation des propriétés du microbiome dans la protection intégrée des cultures. Le premier, ABA PIC³, débuté en juillet 2021, développe des outils moléculaires pour détecter et suivre les micro-organismes (et les substances de biocontrôle) dans l'agrosystème, et améliore la méthodologie des essais évaluant les produits de biocontrôle. Le projet Inov3PT étudie l'influence de la diversité microbienne des sols et de la rhizosphère et de son activité sur la suppression des bioagresseurs telluriques de la pomme de terre. ■

(2) Expérience de Kwak et al., 2018.

(3) ABA PIC : « Accélération du biocontrôle et des agroéquipements pour la protection intégrée des cultures ». Le projet, coordonné par l'ACTA, est financé pour 19 mois dans le cadre du plan France Relance et rassemble divers instituts techniques agricoles. Plus d'infos sur <https://blog.vegenov.com/2021/09/aba-pic-un-projet-au-coeur-de-la-transition-agroecologique>.