

EXPLOITATION ET VALORISATION DES RHIZOBACTÉRIES EN BIOTECHNOLOGIE VÉGÉTALE : PHYTOSTIMULATION ET AMÉLIORATION DE LA NUTRITION DES PLANTES

Benchabane Messaoud*, Toua
Dalila, et Ameer Djamila

* Université de Blida –
Faculté Agro – Vétérinaire.
Département des Sciences
Agronomiques
Laboratoire de
Phytopathologie. B.P. 270
Route de Soumaa – BLIDA
09000. Algérie.
E-mail: mssaoudh@yahoo.fr

Introduction

Les *Pseudomonas* appartiennent à la famille des Pseudomonadaceae, sous-classe des Proteobacteria. Les *Pseudomonas* spp. fluorescents constituent un groupe bactérien du genre *Pseudomonas* "sensu stricto" [1]. Ces espèces colonisent abondamment les sols et les environnements aquatique et marin; certaines se développent dans la rhizosphère au contact des racines (les rhizobactéries), d'autre sur les parties aériennes (phyllosphère) [2].

Ce groupe bactérien est assigné aux rhizobactéries dites PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria), synonyme de Rhizobactéries promotrices de la croissance des plantes. Ces bactéries arrivent à s'adapter facilement et s'associer avec plusieurs plantes et induisent des améliorations significatives des rendements. Par leurs effets bénéfiques résultent des actions de phytostimulation et de biocontrôle de divers agents phytopathogènes. De nombreux travaux ont mis en évidence l'implication de ces rhizobactéries dans l'induction de la résistance systémique de plusieurs espèces végétales vis-à-vis de multiples parasites. Des effets bénéfiques sur le plan écologique ont été également signalés, avec ces rhizobactéries, par leur rôle dans la dégradation de certaines substances xénobiotiques dans le sol [3, 4].

1- Actions de phytostimulation

Les rhizobactéries, du groupe *Pseudomonas* spp. fluorescents, agissent directement sur la croissance des plantes en stimulant leurs aptitudes physiologiques [5], et/ou indirectement en limitant les actions néfastes des agents pathogènes et délétères. Les actions directes résultent des activités rhizobactériennes par la solubilisation de divers éléments minéraux et la production de régulateurs de croissance. Les actions indirectes se résument dans la gestion des équilibres microbiens rhizosphériques au profit des plantes par des mécanismes antagonistes ou compétitifs. Même si la réussite de l'expression de tels effets phytobénéfiques dépend en grande partie de la nature de la plante hôte, d'autres

paramètres, particulièrement les caractéristiques du sol, les rotations des cultures, les travaux mécaniques et de fertilisation, ainsi que l'emploi de pesticides ont des effets notables [6]. (Figure 1).

2-Amélioration de la nutrition

La quasi-totalité des travaux effectués sur la phytostimulation a mis en exergue une amélioration généralisée sur la nutrition minérale de la plante, néanmoins des études spécifiques ont montré des effets particuliers sur les apports en fer, en phosphore, en azote et en manganèse.

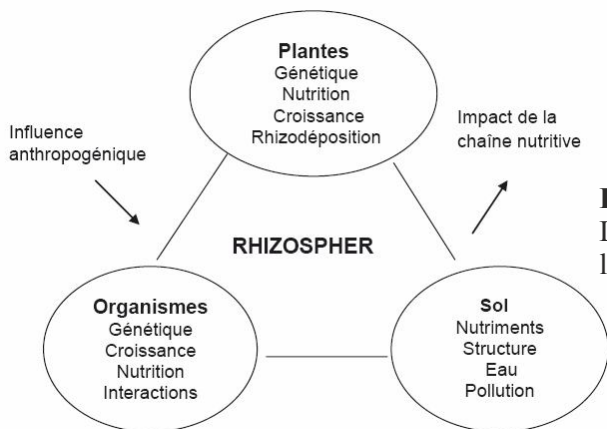


Figure 1:
Les interactions dans la rhizosphère [7].

2.1- Fer

Les *Pseudomonas* spp. fluorescents ont la capacité de synthétiser des sidérophores, des molécules chélatrices du fer, surtout en conditions de carence en cet élément, nécessaire à leur croissance. Le terme sidérophore (du grec, porteur de fer) désigne des composés du métabolisme secondaire à faible poids moléculaire solubles dans l'eau et caractérisés par leur affinité aux ions Fe^{3+} . Les sidérophores sont aussi parmi les composés des rhizobactéries ayant un effet sur la stimulation de la croissance. Les *Pseudomonas* spp. fluorescents synthétisent de nombreux sidérophores chélateurs du fer ionique, qui exhibent des effets fongistatique et bactériostatique, tels que les pyoverdines, les pseudobactines, les pyochelines et l'acide salicylique. D'autres types de sidérophores ont été trouvés chez ces bactéries, tels que les ferribactines, les pseudomonines et les pyochelines. Il est admis que la synthèse de sidérophores, même si les caractéristiques génotypiques sont déterminantes, dépend des caractéristiques du sol, de la concentration en oligo-éléments, notamment en fer, du pH du sol et de la disponibilité du carbone et de l'azote. En plus de ces facteurs, certains métaux lourds, tels que le zinc et le cadmium semblent stimuler leur production [13, 14, 15].

2.2- Phosphore

Le prélèvement d'autres minéraux, nécessaires pour le développement des plantes, comme le phosphore est fortement liée à l'activité des micro organismes telluriques. La dissolution des phosphates par les microorganismes n'est pas liée à un phénomène passif, comme par exemple la baisse du pH due à la libération des acides organiques ; en fait les bactéries sont capables d'extraire le phosphore « assimilable » en séquestrant les cations métalliques intervenant dans son absorption et en le libérant lorsque il est lié aux argiles et à l'oxyde de fer d'aluminium. Pour que le phosphore naturel puisse servir dans le métabolisme et la croissance des plantes, il faut que les conditions de son utilisation favorisent sa dissolution, ce qui relève de la nature du sol (physique, chimique et biologique). Les activités enzymatiques des *Pseudomonas* rhizosphériques peuvent contribuer, particulièrement, en l'absence de formes assimilables de phosphores dans le sol, dans l'approvisionnement de la plante en cet élément [6].

2.3- Azote

Certaines espèces de *Pseudomonas* spp. fluorescents peuvent utiliser des oxydes d'azote; cette réduction est généralement inhibée en aérobiose et les nitrites formés sont rejetés dans le milieu et ils peuvent intervenir comme des accepteurs d'électrons et réduits en composés gazeux, tels que:

les oxydes nitriques (NO), les oxydes nitreux (N_2O) et en azote libre (N_2); il s'agit de la dénitrification dissimulatrice profitable pour la plante. D'autres souches, de ce même groupe bactérien, stimulent la nodulation des légumineuses en association avec *Rhizobium* spp. Grimes et Mount ont montré que la souche B72 de *P. putida* augmente de façon significative la nodulation du haricot. Ces souches sont appelées des rhizobactéries promotrices de la nodulation (NPR: Nodulating promoting Rhizobactéria) [19, 20].

2.4- Manganèse

Les *Pseudomonas* spp. fluorescents solubilisent le manganèse grâce à des agents chélateurs, tels que les composés phénoliques et les acides organiques qui forment avec le manganèse un complexe soluble qui évite sa précipitation [109]. La réduction du manganèse du sol par les *Pseudomonas* spp. fluorescents pourrait augmenter sa disponibilité et favoriser son assimilation par la plante [6, 7, 18].

3- Production de substances de croissance

Il a été démontré que la stimulation de la croissance des plantes bactérisées peut être due à la synthèse microbienne de substances de croissance analogues aux phytohormones. Ces substances sont de différentes catégories, telles que les auxines, les gibbérellines, les cytokinines, l'éthylène et l'acide abscisique (ABA). D'autres composés vitaminiques ont été également identifiés chez ces rhizobactéries [6, 20].

3.1- Acide indole acétique (AIA)

L'acide indole -3- acétique (AIA) est reconnu comme une auxine principale chez les plantes, impliquée dans tous les aspects de leur croissance et de leur développement.

La production de l'AIA par les rhizobactéries a été associée avec la promotion de la croissance de la plante, surtout sur la morphogénèse des racines, leur initiation et leur élongation.

Les souches de *Pseudomonas putida* ont tendance à produire de l'acide indole acétique (AIA). Les rhizobactéries synthétisent d'une manière prédominante l'AIA à partir du tryptophane par la voie de l'acide indole-3-pyruvique. L'aptitude de synthétiser l'AIA, ou des produits apparentés, ainsi que la solubilisation des phosphates sont des caractéristiques retrouvées chez certaines souches. Ces propriétés, parmi d'autres peuvent avantager la souche dans sa compétition et son adaptation à divers écosystèmes (sol nu et sol rhizosphérique).

Globalement, il n'y a pas assez d'informations sur les bases génétiques qui provoquent les variations naturelles dans la sensibilité de la racine aux auxines exogènes synthétisées par les PGPR. L'auxine produite dans la rhizosphère par les rhizobactéries peut stimuler l'activité de l'acide 1-aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC) synthase, une enzyme naturellement utilisée par la plante pour former l'éthylène

3.2- Ethylène

L'éthylène à fortes concentrations est considéré habituellement comme un inhibiteur de la croissance des plantes, mais en faibles concentration peut favoriser réellement la croissance chez plusieurs espèces végétales. Certains PGPR synthétisent l'enzyme vitale, "ACC" (1-aminocyclopropane-1-carboxylate desaminase) qui régule la production de l'éthylène, en métabolisant l'ACC (un précurseur immédiat de la biosynthèse de l'éthylène dans les plantes) en α -ketobutyrate et en ammoniac. Il est à noter que des substances exsudées par les racines des plantes peuvent être des précur-

seurs dans la biosynthèse de l'ACC. Les rhizobactéries possédant cette désaminase peuvent dégrader l'ACC et l'utiliser comme une source de carbone. La production de l'éthylène par les racines peut être réduite en présence des rhizobactéries productrices de l'ACC et peuvent accroître la croissance racinaire tout en inhibant l'ACC endogène.

D'autres catégories de rhizobactéries, ne possédant pas l'ACC désaminase, mais peuvent participer dans l'accroissement de la plante. Dans ce dernier cas, il est présumé que ces bactéries possèdent certains composants pariétaux, qui sécrètent des composés agissant comme 'éliciteurs' de la croissance végétale. Les racines de la plante doivent être aptes à percevoir et reconnaître ces molécules de la même façon que la reconnaissance des éliciteurs rencontrés chez les agents pathogènes [9]

4- Effet de la plante hôte

La plante modifie les caractéristiques du rhizoplan, en induisant une modulation de la densité et de l'activité microbienne tellurique. Les conditions particulières de la rhizosphère exercent des actions spécifiques et favorisent certains groupes microbiens [8]. Les racines comme support mécanique et la microflore tellurique comme moyen d'absorption et de prélèvement d'eau et de nutriments, assurent des activités spécifiques de synthèse et d'accumulation de divers composés nutritifs pour la plante [39]. La nature qualitative et quantitative des exsudats racinaires peut varier en fonction de l'espèce végétale et même du cultivar [40]. Le stade phénologique de la plante et les conditions environnementales exercent des effets notables sur les populations microbiennes du sol [6, 7].

Les exsudats racinaires peuvent représenter 10 à 20 % de photosynthétats et conditionnent la densité et l'activité des microorganismes rhi-

zosphériques; elles peuvent être des sucres, des acides aminés, des acides organiques ou des hormones [9]. Des populations microbiennes spécifiques peuvent être favorisées par l'adéquation de leur activité métabolique avec la composition des exsudats racinaires [10]. D'une manière spécifique certains acides aminés qui sont une composante importante des exsudats racinaires, peuvent jouer un rôle essentiel dans l'induction de la production de divers métabolites secondaires synthétisés par les *Pseudomonas* rhizosphériques. Les rhizodépôts représentent la source principale en carbone dans la rhizosphère, elles joueraient un rôle important dans l'établissement et l'efficacité antagoniste et promotrice de la croissance microbienne.

De nombreux travaux réalisés en conditions contrôlées ou en plein champs ont mis en évidence des interactions bénéfiques entre ces rhizobactéries et diverses espèces végétales herbacées, ligneuses et ornementales. Certains effets bénéfiques induits par quelques souches bactériennes, appartenant en particulier au groupe de *Pseudomonas* spp. fluorescents, semblent stimuler et améliorer la germination des graines et la levée des plantes, notamment lorsque les conditions d'environnement sont défavorables à leur germination. La vitesse de levée a été améliorée chez plusieurs espèces végétales, surtout chez les espèces herbacées après leur bactérisation [11, 12]. Ces microorganismes peuvent aussi améliorer la vigueur et l'adaptation des plantules en conditions de vitroculture (vitroplants et acclimatation). Des travaux, réalisés dans des conditions de vitroculture, ont mis en évidence des effets positifs de la bactérisation sur la rhizogénèse, la croissance et le développement de vitroplants. D'autres travaux ont rapporté des incidences favorables sur le développement racinaire, sur l'initialisation foliaire et la longueur des entre-nœuds des vitroplants.

Ces effets positifs de ces rhizobactéries restent aussi perceptibles pendant et après les phases d'acclimatation où les conséquences sont notables, particulièrement sur la vigueur des plants.

Références Bibliographiques

1. Palleroni, N.J, «Introduction to the family *Pseudomonadaceae*», 1992, 3071-3085. A. Ballows, H. G. Trüper, M. Dworking, W. Harder and K. H. Schleifer .Eds., *In The prokaryotes*, Springer Verlag, New York.
2. Digat, B., GARDAN., «Caractérisation, variabilité et sélection des souches bénéfiques de *Pseudomonas fluorescens* et *putida*». Bull. OEPP/EPPO, N° 17, 1987,pp 559–568. 11.
3. Kloepper, J.W. and Schroth, M.N, «Plant growth– promoting rhizobacteria on radishes», In: Proc int Conf Plant Pathol Bact Angers, N°1978, pp. 379 - 382.
4. Van Loon, L.C., Bakker, P.A.H.M. and Pieterse, C.M.J.. «Prospects and challenges for practical application of rhizobacteria-mediated induced systemic resistance». In: *Induced Resistance in Plants Against Insects and Diseases* (A. Schmitt and B. Mauch-Mani, eds), IOBC/wprs Bulletin vol 25, N°6, 2002, pp: 75-82.
5. Van Loon, L.C. and Glick, B.R.. «Increased plant fitness by rhizobacteria. In: *Ecological Studies*, vol. 170, *Molecular Ecotoxicology of Plants* (H. Sandermann, ed.) », Springer Verlag, Berlin, 2004, pp.177-205.
6. Benchabane, M. «Caractérisation des effets d'antagonisme microbienne et de promotion de la croissance végétale de souches de *Pseudomonas* spp. fluorescents .Thèse Doctorat d'état», FSB-UTHB, Alger, 2005, pp. 235.
7. Lynch, J.M. «Resilience of the rhizosphere to anthropogenic disturbance». *Biodegradation* N°13, 2002, pp: 21–27
8. Latour, X.,. «Effet de la plante et du sol sur la diversité des populations telluriques de *Pseudomonas* spp. fluorescents». Thèse de doctorat-Université de Bourgogne Dijon, 1996, 70p.
9. Haas, D. and Defago, G. «Biological control of soil-borne pathogens by fluorescent pseudomonads». *Nat. Rev. Microbiol.* Vol 3, N°4, 2005,pp:307-319.
10. Gamalero, E., Lingua, G., Tombolini, R., Avidano, L., Pivato, B., Berta, G. «Colonization of tomato root seedling by *Pseudomonas fluorescens* 92rkG5: spatiotemporal dynamics localization, organization», viability and culturability. *Microb Ecol* N°50,2005,pp:289–297
11. Sharma, A., Pathak, A., Sahgal, M., Meyer, J-M., Wray, V., Johri, B.N. «Molecular characterization of plant growth promoting rhizobacteria that enhance peroxidase and phenylalanine ammonia-lyase activities in chile (*Capsicum annuum* L.) and tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.)» *Arch Microbiol* N°188, 2007, pp:483–494
12. Wang. F. Q, Wang. E.T, Liu. J, Chen. Q, Sui. X.H, Chen. W.F, Chen. W.X.,. «*Mesorhizobium albiziae* sp. nov., a novel bacterium that nodulates *Albizia kalkora* in a subtropical region of China». *Int J Syst Evol Microbiol* N°57, 2007,pp. 1192-1199.
13. Digat, B. «Statégie for seed bacerization. Acta». *Hortic.* N°253, 1989, pp121 – 130 64. Van Loon. L.C, Bakker. P.A.H.M, «Signalling in Rhizobacteria–Plant Interactions. *Ecological Studies*, Vol. 168 H. de Kroon», E.J.W.Visser (Eds.)*Root Ecology*. 2003, pp.297-330.
14. Meyer. J.M, et Abdellah. A. «The fluorescent pigment of *Pseudomonas fluorescens*: biosynthesis, purification and physico-chemical properties », *J. Gen. Microbiol*, N° 107, 1978, pp. 319 - 328.
15. Meyer, JM, «Pyoverdines: pigments, siderophores and potential taxonomic markers of fluorescent *Pseudomonas* species». *Arch Microbiol* N°174,2000,pp:135–142
16. Raaijmakers, Jos M, Paulitz Timothy C. Steinberg Christian Alabouvette Claude Moënne-Locco Yvan ..«The rhizosphere: a playground and battlefield for soilborne pathogens and beneficial microorganisms», *Plant Soil*, 2008, pp1573-5036
17. Moll Henry, Johnsson Anna, Schafer Mathias ,Pedersen Karsten, Budzikiewicz Herbert, Bernhard Gert,. «Curium (III) complexation with pyoverdins secreted by a groundwater strain of *Pseudomonas fluorescens*». *Biomaterials* N°21,2008,pp:219–228
18. Zhang, S-H, Li, W, Wu, C-Z, Chen, H, Shi, Y, «Reduction of Fe(II) EDTA-NO by a newly isolated *Pseudomonas* sp strain DN-2 in NOx scrubber solution». *Appl Microbiol Biotechnol* N°76, 2007,pp:1181–1187
19. Welle. D.M, Raaijmakers. J.M, Gardener. M, and Thomashow. L.S, «Microbial populations responsible for specific soil suppressiveness to plant pathogens», *Annu Rev Phytopathol*, vol. 40, 2002, pp. 309-348.
20. Remans R, Croonenborghs A, Torres Gutierrez R, Michiels J, Vanderleyden J «Effects of plant growth promoting rhizobacteria on nodulation of *Polus vulgaris* L. are dependent on plant P nutrition». *Eur J Plant Pathol* , 119, 2007,pp:341–351