

Stimuler la croissance des plantes pour mieux valoriser les ressources agricoles : *Les engrais minéraux comme hôtes de microorganismes stimulant la croissance des plantes*

Robin Roland

Directeur général, EVL Canada
rrobin@evlbiotec.com ou robinr@geotactic.com

Résumé

Les interactions entre les microorganismes et la plante dans la rhizosphère sont nombreuses et variées. Les microorganismes en présence exercent une grande influence sur plusieurs mécanismes responsables de la santé et de la croissance des plantes. Ils règlent souvent la réponse de la plante au stress environnemental et contribuent au développement même des racines et de la biomasse.

Plusieurs mécanismes sont réputés jouer un rôle essentiel dans la croissance des plantes. Les plus fondamentaux sont, bien sûr, l'accès aux nutriments minéraux et organiques de base en quantité suffisante pour répondre aux besoins de la plante, et l'absorption effective de ces nutriments grâce à leur transformation, leur solubilisation et leur transport du sol vers la plante. Or, les microorganismes sont au cœur même de ces mécanismes et en déterminent largement l'efficacité. Introduire dans le sol, au moment opportun et à l'endroit souhaités, des microorganismes judicieusement sélectionnés en fonction de leur production caractéristique d'enzymes, de bactériocines, d'acides organiques et autres peut exercer un effet stimulant sur la protection et la croissance des plantes. Certains microorganismes et produits dérivés de la fermentation de ces microorganismes agissent ainsi comme catalyseurs au niveau des transformations recherchées ou comme régulateurs de croissance.

De nouveaux procédés permettent aujourd'hui d'imprégner les engrais minéraux d'une solution microbienne spécialement conçue pour résister au milieu hostile qu'ils constituent pour les microorganismes, et pour rejoindre et stimuler la microflore naturellement présente dans le sol, au niveau de la rhizosphère notamment, au moment opportun. Cette présentation expose plus en détails les principes qui gouvernent cette technologie qui ouvre tout un monde de possibilités en termes commerciaux, développementaux et environnementaux.

Mots clés : Microorganismes, régulateurs de croissance, nutriments, transformation, croissance, engrais minéraux.

Introduction

Cette contribution aux allocutions du congrès sucrier de l'ARTAS/AFCAS présente un caractère plus informatif que strictement scientifique. Elle expose, en fait, les résultats d'un long cheminement expérimental, fondé sur la conviction que le monde minéral a déjà livré ce qu'il lui était possible d'offrir en termes de fertilisation des sols, et que, seul un mariage de raison entre les mondes minéral, végétal et animal pourra ouvrir la voie à de nouveaux modes de stimulation de la croissance des plantes. Si certains avancent déjà que le monde minéral n'est peut-être pas exempt de vie, il est certain que ces mondes se côtoient de façon intime dans la nature comme le démontre la chimie organique notamment.

L'expression « mariage de raison » n'est sans doute pas des plus appropriées puisque la nature ne s'embarrasse pas de telles notions. Il faut admettre, par contre, que dans le monde des humains, les tenants de la fertilisation chimique ou minérale ne se sont guère montrés intéressés, jusqu'à tout récemment, à l'apport que pourraient offrir les microorganismes à la croissance des plantes et à l'augmentation des rendements agricoles, lorsqu'associés à l'utilisation d'engrais minéraux. C'est donc à ce niveau, entre autres, que le « mariage de raison » pourra avoir lieu. Ce bref article constitue en quelque sorte un faire-part pour ce mariage.

Est-il besoin de rappeler, par ailleurs, que pour répondre à la demande sans cesse croissante en produits alimentaires, dans un contexte où le domaine agricole mondial ne peut guère s'étendre au-delà de ses limites actuelles sans hypothéquer des espaces aux possibilités agricoles insuffisantes pour soutenir une agriculture durable, et dans un contexte où les changements climatiques risquent fort aussi, d'hypothéquer lourdement certaines zones productives essentielles à la survie des populations qui en dépendent, le monde agricole a un urgent besoin de solutions innovantes.

Une technologie innovante

Il est connu depuis longtemps que la présence des microorganismes dans le sol exerce des effets importants sur la croissance des plantes. Les interactions entre les microorganismes et la plante dans la rhizosphère sont nombreuses et variées. Les microorganismes en présence exercent une grande influence sur plusieurs mécanismes responsables de la santé et de la croissance des plantes. Ils règlent souvent la réponse de la plante au stress environnemental et contribuent au développement même des racines et de la biomasse.

Plusieurs mécanismes sont réputés jouer un rôle essentiel dans la croissance des plantes. Les plus fondamentaux sont, bien sûr, l'accès aux nutriments minéraux et organiques de base en quantité suffisante pour répondre aux besoins de la plante, et l'absorption effective de ces nutriments grâce à leur transformation, leur solubilisation et leur transport du sol vers la plante. Or, les microorganismes sont au cœur même de ces mécanismes et en déterminent largement l'efficacité.

Introduire dans le sol, au moment opportun et à l'endroit souhaité, des microorganismes judicieusement sélectionnés en fonction de leur production caractéristique d'enzymes, de bactériocines, d'acides organiques et autres peut exercer un effet stimulant sur la protection et la croissance des plantes. Certains microorganismes et produits dérivés de la fermentation de ces microorganismes agissent ainsi comme catalyseurs au niveau des transformations recherchées ou comme régulateurs de croissance.

La biotechnologie à laquelle réfère cet article repose d'abord sur la sélection et la fermentation de cinq microorganismes. Pour des raisons évidentes d'intolérance de certains microorganismes aux autres, le ferment est composé de deux solutions distinctes d'imprégnation où *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis*, *Pseudomonas putida* et *Saccharomyces cerevisiae* sont issus d'un milieu spécifique et où *Lactobacillus acidophilus* est fermenté séparément. Ces ferments sont ensuite pulvérisés simultanément à la surface des engrais minéraux habituellement utilisés dans le cadre des programmes de fertilisation de quelque culture que ce soit. L'engrais minéral devient alors l'hôte des microorganismes sélectionnés jusqu'à ce que cet engrais soit épandu sur le sol, à proximité des plantes et au moment où celles-ci nécessitent un apport externe d'élément nutritifs pour en soutenir la croissance.

Les microorganismes sélectionnés sont les suivants :

<p><i>Lactobacillus acidophilus</i> (LA) <i>Bacillus subtilis</i> (BS) <i>Bacillus licheniformis</i> (BL) <i>Pseudomonas putida</i> (PP) <i>Saccharomyces cerevisiae</i> (SC)</p>

La première contribution de ces microorganismes au processus de croissance des plantes tient au fait qu'ils s'activent dans le sol, et rejoignent et stimulent la microflore en présence pour déclencher des réactions chimiques complexes qui sous-tendent les processus de **transformation** et de **solubilisation** des nutriments minéraux et organiques, et leur **transport** du sol vers la plante, pour être finalement **absorbés** par cette dernière.

Cependant, la croissance des plantes ne repose pas uniquement sur la disponibilité et l'absorption des nutriments. Certains mécanismes de croissance sont contrôlés par des substances autres que les nutriments. Ces substances sont produites par des microorganismes mieux connus sous leur vocable anglais « *Plant Growth Promoting Bacteria- PGPB* » ou encore « *Plant Growth Promoting Rhysobacteria - PGPR* ». Ces microorganismes agissent ainsi comme « régulateurs de la croissance des plantes ». Bien que la littérature nous renseigne déjà assez bien sur les PGPB et autres microorganismes impliqués dans les processus de croissance et de protection des plantes, il y a encore tout un mode à explorer et à découvrir à ce niveau.

La technologie d'imprégnation des engrais minéraux exposée dans cet article permet donc d'agir à deux niveaux : sur la contribution des microorganismes à la transformation, solubilisation et absorption plus efficace des nutriments en présence ou portés au sol, et sur la contribution des microorganismes à la production de substances hormonales et autres exerçant une influence sur la croissance et la santé des plantes.

Principes sous-jacents de la technologie

Principe 1 : La sélection judicieuse des microorganismes

La sélection judicieuse des microorganismes constitue sans doute l'exercice le plus contraignant en ce qu'il exige (1) la compréhension la plus poussée possible des rôles individuels, combinés et collectifs joués par les microorganismes retenus, (2) leur caractérisation détaillée pour en établir la nature exacte et pouvoir ainsi prévenir et reconnaître toute transformation ou mutation qui pourrait compromettre l'innocuité, et (3) le maintien des équilibres qui conditionnent l'efficacité générale et certains effets spécifiques du produit final, tel qu'imprégné sur les engrais minéraux.

Principe 2 : L'amélioration effective du coefficient d'absorption

Ce coefficient repose d'abord sur la plus grande disponibilité des nutriments minéraux et organiques résultant de l'action des microorganismes sur la solubilisation de ces nutriments, et plus spécifiquement des engrais phosphatés et potassiques, et des oligoéléments susceptibles de les accompagner. Il repose aussi sur l'accroissement de la capacité d'importation et d'absorption qu'une biomasse plus importante au niveau des racines peut procurer. Il est reconnu que l'inoculation bactérienne en début de phase d'acclimatation de la plante peut contribuer à établir une rhizosphère favorable au développement des racines¹.

Comme les microorganismes sont, dans ce cas, les hôtes des engrais minéraux, ils sont donc mis à contribution au moment opportun, puisque leur action suit le rythme des apports d'engrais qui répondent, en principe, à des besoins spécifiques de la plante tout au long du cycle de croissance et de production.

Une conséquence non négligeable de l'amélioration du coefficient d'absorption tient au fait qu'une absorption plus immédiate et complète des apports d'un programme de fertilisation réduit forcément le phénomène de dispersion de ces apports dans le milieu, ce qui profite d'autant à l'environnement.

Principe 3 : Renforcement des mécanismes de croissance et de protection

¹ Del Carmen Jaizme-Vega M. et al., (2004). Dpto. Protección Vegetal, Instituto Canario de Investigaciones Agrarias, **Coden Fruias**.

Les microorganismes transportés par les engrais traités à proximité des racines s’allient alors à la microflore en présence pour la stimuler, et leur action combinée rejoint rapidement la rhizosphère où ils exercent les effets souhaités sur certains mécanismes qui conditionnent la croissance et la protection des plantes. Cette action se manifeste d’abord au niveau de la plus grande efficacité des phénomènes de transformation et de solubilisation des nutriments minéraux et organiques qui contribuent à l’augmentation du coefficient d’absorption (principe 2). Ce faisant, l’accès plus facile à ces nutriments stimule le développement des racines avec lesquelles les microorganismes et les produits dérivés de leur fermentation interagissent individuellement, collectivement ou en synergie pour stimuler la croissance ou influencer les mécanismes d’adaptation au stress environnemental. On entre ici dans le monde des microorganismes régulateurs de croissance ou *Plan Growth Promoting Bacteria (PGPB)*. La recherche et de nombreuses publications démontrent clairement que plusieurs microorganismes produisent des substances qui exercent une influence directe ou indirecte sur la croissance de plantes. Les microorganismes favorisant la solubilisation des nutriments de même que ceux qui produisent des substances plus directement associées aux mécanismes de réponse au stress environnemental entrent, au même titre, dans cette catégorie.

La sélection d’articles listés en bibliographie démontre que les microorganismes présents dans le sol et plus spécifiquement dans la rhizosphère exercent des effets variés à ces deux niveaux. L’intérêt pour ce domaine remonte à plusieurs années déjà, mais les publications sont devenues nettement plus fréquentes depuis 5 ou six ans. On peut voir que cet intérêt peut être spécifique à des phénomènes qui touche la production agricole tout autant que la résistance des plantes à des conditions adverses comme la sécheresse ou la présence de métaux lourds et autres type de pollution.

À titre d’exemples on illustre ici, de manière schématique, l’action des microorganismes sur la solubilisation du phosphore (P) et sur la production de l’éthylène qui joue un rôle fondamentale dans la réponse de la plante au stress environnemental.

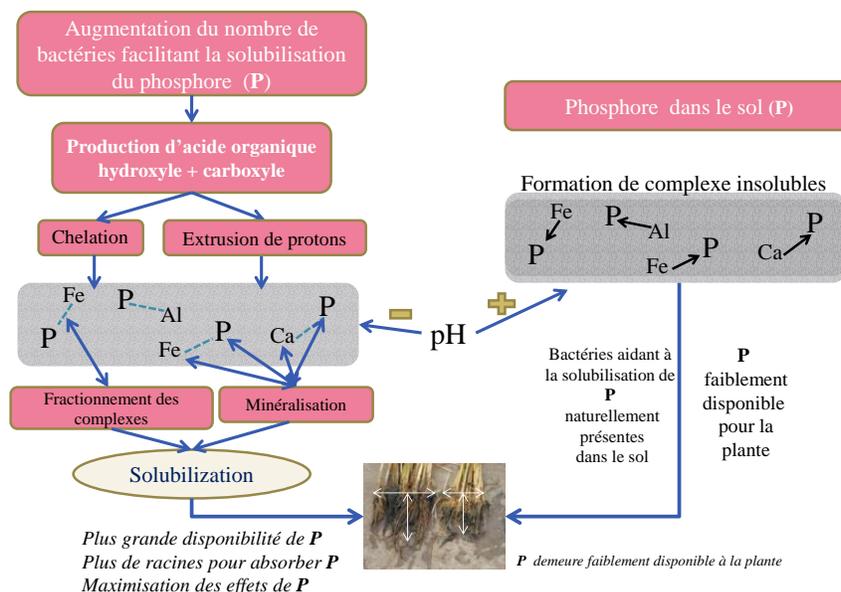


Figure 1. Solubilisation du phosphore par l’action des microorganismes

Contrôle de la production d'éthylène

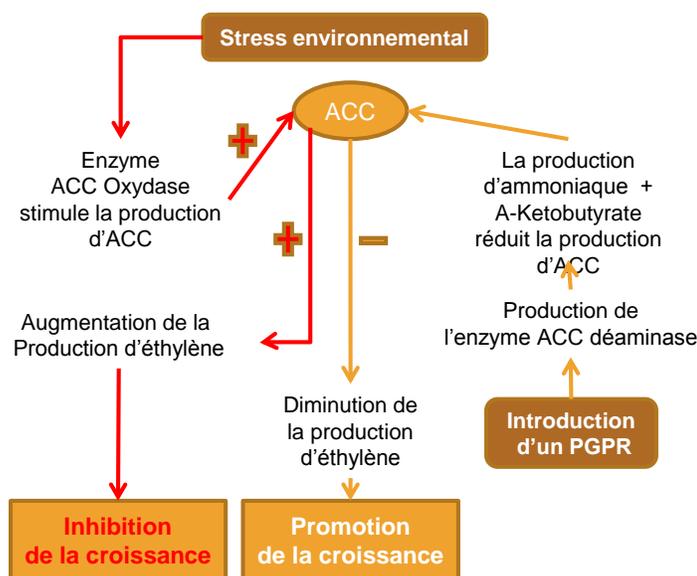


Figure 2. Mécanisme influençant la réponse au stress environnemental

Caractéristiques générales de la solution d'imprégnation des engrais minéraux

Le ferment que propose la technologie pour imprégner les engrais minéraux est composé, comme indiqué précédemment, de deux solutions distinctes, préparées à partir de milieux différents. La première est appelée solution « AC » et la seconde, solution « MD ». La solution AC ne contient en fait que *Lactobacillus acidophilus*. La seconde rassemble *Bacillus licheniformis*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas putida* et *Saccharomyces cerevisiae* dans des proportions et concentrations établies.

Comme souvent rapporté dans la littérature, *Lactobacillus acidophilus*(LA) produit des bactériocines qui jouent un rôle dans l'inhibition de certains microorganismes pathogènes ou nuisibles (coliformes, salmonelles, moisissures, etc.) dans le sol. Son action, à ce niveau, contribue à créer un environnement favorable aux microorganismes qui composent le cocktail de la solution MD. *Lactobacillus acidophilus* produit aussi des acides organiques et lactiques dont la capacité d'ionisation des minéraux est bien connue. Ces minéraux deviennent ainsi plus facilement absorbables par la plante.

Quant au cocktail *Bacillus licheniformis*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas putida* et *Saccharomyces cerevisiae*, où les bacilles sont dominants, son rôle premier consiste à produire une variété d'enzymes dont la présence dans le sol facilitera certaines réactions favorisant la transformation et la solubilisation des nutriments, et la production des substances qui régissent les mécanismes de croissance au-delà de la seule absorption des nutriments.

Innocuité de la solution d'imprégnation

Les microorganismes qui entrent dans la composition de la solution d'imprégnation que propose cette technologie ont été sélectionnés pour le rôle qu'ils doivent jouer comme biostimulants mais aussi en fonction du niveau d'innocuité qui leur est reconnu au Canada et aux É.-U., notamment, du fait de leur inscription sur la liste des substances domestiques du Canada et sur la liste GRAS (Generally Recognized as Safe) américaine.

Ces microorganismes ont fait l'objet d'une caractérisation détaillée par l'Institut National des Aliments Fonctionnels et Nutraceutiques de l'Université Laval (Québec, Canada) et leur

propriété sont vérifiées régulièrement de manière à prévenir toute mutation qui pourrait en modifier les propriétés.

Des résultats constants et signifiants

Cette technologie d'imprégnation des engrais minéraux a fait l'objet d'expérimentations en milieu contrôlé (serre, ferme expérimentale), et en champs (essais, démonstration, utilisation commerciale) depuis 1994. Depuis qu'elle est utilisée de manière commerciale en milieu tropical (Vietnam, 2005), des centaines de milliers d'hectares ont été fertilisés au moyen d'engrais minéraux imprégnés de cette solution. Les résultats ont partout été significatifs, correspondants à une augmentation de rendements de l'ordre de 10% et plus.

Pour que ces résultats soient atteints et maintenus, il est impératif d'assurer que tous les engrais minéraux que comportent les programmes de fertilisation soient effectivement imprégnés de la solution. Les tableaux qui suivent illustrent ces résultats de manière agglomérée pour le Vietnam.

Tableau 1. Vietnam – Institut de Recherche sur les sols et engrais (2001-2003)

Riz d'été (13,9%)
Riz de printemps (12,7%)
Patate d'hiver (12,5%)
Melon d'eau (17,3%)
Chou-fleur (26,8%)
Oignon (28%)
Café Arabica (12,05%)
Thé (15,84%)

Tableau 2. Vietnam – BCC (2006-2007) – Production commerciale

Riz (Haau Giang) (13,3%)
Riz (Long An) (12%)
Riz (Soc Tang) (15,9%)
Riz (16 sites) (14,3%)
Caoutchouc (ChonThanh) (63,9%)

Conclusion

Bien que cet article fasse état d'une démarche expérimentale définitivement orientée sur l'application d'une technologie innovante plutôt que sur la théorie qui en sous-tend les résultats, il est encourageant de constater que des voies nouvelles et porteuses s'offrent à l'agriculture moderne pour repousser les limites de la productivité sans devoir rejeter les modes opératoires actuels.

Il a été établi que le mariage entre les mondes minéral, végétal et animal est déjà réalité et que le rôle des microorganismes dans les rapports entretenus entre ces mondes est peut-être le plus actif qui soit. Sans offrir une panacée à tous les problèmes que pose l'alimentation mondiale, le deuxième souffle que la microbiologie pourrait offrir à la performance et à l'utilisation plus efficace des engrais minéraux ouvre certes des perspectives encourageantes auxquelles devront s'intéresser les producteurs d'engrais et les producteurs agricoles qui font usage de grandes quantités d'engrais minéraux.

Références bibliographiques

Bothelho G. *et al.* (1998). **Ecology of plant growth promoting strain of *Pseudomonas fluorescens* colonizing the maize endorhizosphere in tropical soil.** World Journal of Microbiology and Biotechnology. SN 059-3993.

Sanni A.I. *et al.* (2007). **Plant Growth Promoting Rhysobacteria do not pose any deleterious effect on cowpea and detectable amounts of ethylene are produced.** World Journal of Microbiology and Biotechnology. SN 059-3993.

Bhattacharjee R. B. *et al.* (2008). Use of nitrogen-fixing bacteria as biofertilizer for non-legumes : prospects and challenges. Applied Microbiology and Biotechnology. SN 01757598.

Chinnadurai C. *et al.* (2009). **Characterization of 1-aminocyclopropane-1-carboxilate deaminase producing methylobacteria from phyllosphere of rice and their role in ethylene regulation.** World Journal of Microbiology and Biotechnology. SN 059-3993.

Chaiharn M. *et al.* (2009). **Phosphate Solubilization potential and stress tolerance of rhizobacteria from rice soil in Northern Thailand.** World Journal of Microbiology and Biotechnology. SN 059-3993.

Arora N.K. *et al.* (2010). **Effect of Al and heavy metals on enzymes of nitrogen metabolism of fast and slow growing rhizobia under explanta conditions.** World Journal of Microbiology and Biotechnology. SN 0959-3993.

Babu A. G. *et al.* (2011). **Dual Inoculation of Arbuscular Mycorrhizal and Phosphate Sulubilizing Fungi Conributes in Sustainable Maintenance of Plant Health in Fly Ash Ponds.** Water, Air and Soil Pollution. SN 0049-6979.

Alikhani H. A. *et al.* (2011). **Wheat (*Triticum aestivum* L.) growth enhancement by *Azospirillum* sp. Under drought stress.** Springer Science + Business Media.

Atieno M. *et al.* (2012). **Efficiency of different formulations of *Bradyrhizobium japonicum* and effect of co-inoculation of *Bacillus subtilis* with two different strans of *Bradyrhizobium japonicum*.** World Journal of Microbiology and Biotechnology. SN 0959-3993.