

## CHAPITRE VIII

# Rhizobactéries promotrices de la croissance des plantes

## 1. PGPR et leurs effets bénéfiques

La rhizosphère est la zone de sol qui est sous l'influence des exsudats racinaires. Dans cette zone se trouve un groupe particulier de bactéries, les rhizobactéries. Ces dernières sont capables de se multiplier et d'entrer en compétition avec les autres microorganismes pour occuper cette zone riche en éléments nutritifs. Certains de ces micro-organismes, principalement des bactéries, sont capables de coloniser efficacement les systèmes racinaires et influencent de manière bénéfique la plante en stimulant sa croissance et/ou en la protégeant contre des infections par des agents phytopathogènes. Ces bactéries de la rhizosphère sont appelées PGPR (en anglais Plant Growth-Promoting Rhizobacteria : rhizobactéries stimulants la croissance des plantes). Les PGPR appartiennent à différents genres et espèces dont les plus étudiés sont : *Agrobacterium radiobacter*, *Azospirillum*, *Bacillus*, *Pseudomonas fluorescens* et *Enterobacter*. Les PGPR présentent un intérêt agronomique important, car leur utilisation pourrait permettre de diminuer les apports d'engrais ou de pesticides chimiques. Cet effet bénéfique peut être direct, lorsque la bactérie stimule la croissance racinaire (symbiose associative entre la bactérie PGPR et sa plante hôte), ou indirect, lorsqu'elle contrôle les pathogènes des tissus racinaires (antagonisme).

## 2. Modes d'action des PGPR

### 2.1. Modes d'action directs

Les mécanismes directs se produisent à l'intérieur des plantes et affectent directement leur métabolisme. Ils comprennent les processus de biofertilisation, qui stimulent directement la croissance racinaire via la synthèse d'hormones ou la fixation d'azote, ce qui augmente les capacités d'absorption de composés minéraux nécessaires à la plante ; et les PGPR phytoprotectrices, qui protègent les plantes contre les maladies d'origine tellurique et stimulent donc indirectement leur croissance.

#### 2.1.1. Fixation biologique de l'azote atmosphérique

Certaines PGPR sont capables de fixer l'azote atmosphérique et le transférer à la plante hôte sous des formes assimilables. Par exemple l'*Azospirillum* est la plus importante bactérie PGPR fixatrice d'azote chez les céréales et stimulant ainsi la croissance des plantes.

#### 2.1.2. Solubilisation des phosphates dans le sol

Les micro-organismes du sol peuvent également favoriser la croissance des plantes en améliorant les transformations de la matière organique des sols et en mobilisant des nutriments inorganiques. Les phosphates sont présents sous forme insoluble dans le sol et ne sont donc pas accessibles par les plantes. Certaines PGPR (*Pseudomonas*, *Bacillus*,...) peuvent libérer des acides organiques et des enzymes qui solubilisent le phosphate insoluble à une forme accessible. Le phosphore joue un rôle essentiel pour la croissance des plantes. Ce processus permet de réduire l'utilisation d'engrais phosphatés

#### 2.1.3. Production des phytohormones

Les hormones végétales sont des messagers chimiques affectant la capacité de la plante à réagir à son environnement et à répondre aux stress biotiques et abiotiques. Elles régulent la croissance végétale et peuvent avoir un effet bénéfique sur le développement des plantes. De nombreuses phytohormones sont produites par les PGPR, telles que : les auxines, les gibbérellines, les cytokinines et l'acide abscissique. Ces hormones de croissance sécrétées en faibles quantités par les bactéries s'ajoutent à l'éventail des hormones végétales endogènes. Les hormones bactériennes stimulent le développement du système racinaire ainsi que la croissance globale de la plante hôte.

- **Acide indole acétique (AIA)** : L'AIA est le plus important du groupe des auxines, et quantitativement le plus produit par les PGPR. Il peut ainsi être assimilé par les tissus de la plante hôte et stimuler l'élongation des racines. Par ce biais, elles sont capables de promouvoir la croissance des racines latérales ou le développement des poils absorbants.

- **Cytokinines et gibbérellines** : Un grand nombre de PGPR produit ces hormones de croissance qui peuvent stimuler la croissance de nombreuses plantes et modifier leur morphologie, tels que : la division cellulaire, l'activation de la germination des graines, la floraison, la fructification et le retard de la sénescence dans de nombreux organes d'une large gamme d'espèces végétales.

## 2.2. Modes d'actions indirects

Les mécanismes indirects, en général, se produisent en dehors des plantes. Certaines PGPR sont dites agents de biocontrôles car elles confèrent à leur plante hôte une protection contre divers phytopathogènes. Elles peuvent agir par antagonisme direct sur l'agent pathogène en empêchant son développement et/ou sa sporulation. Cet antagonisme relève particulièrement de compétitions pour les éléments nutritifs, d'antibiose, de parasitisme et la détoxification du milieu. Elles sont aussi capables d'agir indirectement en favorisant la mise en place d'une résistance systémique de la plante par l'induction de ses mécanismes de défenses.

### 2.2.1. Compétition pour l'espace et les nutriments

Dans certains cas, une réduction de la maladie peut être associée à une colonisation importante des racines par les bactéries bénéfiques, ce qui peut se traduire par une réduction de l'espace nécessaire à la croissance du pathogène. Cette capacité colonisatrice des PGPR peut aussi instaurer une compétition pour les éléments nutritifs indispensables à la survie et au développement des pathogènes dans la rhizosphère. Un cas particulier de compétition pour les nutriments repose sur la compétition pour le fer. L'exemple le plus connu de la compétition pour le fer, est celui de certaines bactéries du genre *Pseudomonas* antagonistes de divers champignons pathogènes. Ces bactéries sont capables de synthétiser des sidérophores, qui sont des molécules chélatrices du fer nécessaire pour leur croissance. En chélatant les ions ferriques dans la rhizosphère par exemple, elles rendent ainsi indisponibles pour le champignon pathogène.

### 2.2.2. Antibiose et parasitisme

L'interaction PGPR/pathogène implique aussi un mécanisme d'antibiose. Il consiste en une inhibition directe de la croissance du pathogène via la production de métabolites toxiques. De nombreux *Pseudomonas* sont capables de produire différents métabolites à activité antibiotique ou antifongique, tels que la pyoluteorine, le 2,4- diacetylphloroglucinol, la pyrrolnitrine, les phenazines et les butyrolactones. Par exemple *Pseudomonas* synthétise du tropolone manifestant des activités antagonistes à l'encontre de *Pythum* et de *Fusarium*. Les pathogènes ainsi inhibés ne gênent pas la plante hôte. Cette bactérie PGPR est un agent efficace dans la lutte biologique en raison de sa capacité à coloniser la rhizosphère et protéger les végétaux contre une large gamme de maladies fongiques. D'autres PGPR sont capables de parasiter et de dégrader les spores des pathogènes à travers la production d'enzymes détruisant la barrière cellulaire (chitinases, glucanases ou cellulases) et de se nourrir à ses dépens.

### 2.2.4. Induction de la résistance de la plante

De nombreuses PGPR sont capables de déclencher une résistance systémique induite (Induced Systemic Resistance ou ISR) chez la plante hôte, ce qui confère à la plante une résistance contre un large spectre de pathogènes, même vis-à-vis de maladies causées par certains insectes et nématodes.

L'ISR est donc phénotypiquement similaire à la SAR (vu dans le chapitre réponses des plantes aux agents pathogènes). Cependant, il semble que les voies d'inductions de la SAR et l'ISR, soient différentes, même si toutes deux se basent sur la transmission d'un signal conduisant à l'activation d'un ensemble de mécanismes de défense. L'ISR emprunte une voie de signalisation différente de celle de la SAR. La SAR est dépendante d'une cascade de signalisation impliquant l'acide salicylique et de l'expression des protéines PR, tandis que la ISR requiert des composants de la voie de signalisation dépendante de l'acide jasmonique (JA) et de l'éthylène (ET).

La colonisation efficace des racines par des PGPR est un événement essentiel pour l'ISR où la population des bactéries sur les racines doit atteindre un niveau seuil suffisant pour déclencher le phénomène. Chez *Pseudomonas* par exemple, il doit être de minimum  $10^5$  cellules par gramme de racines. Il est à noter aussi que les mécanismes de résistance dans l'ISR atteignent leur efficacité maximale entre 4 à 5 jours après l'application d'un agent induisant, mais le niveau de persistance de la résistance diminue avec le temps.

**Les éliciteurs de l'ISR :** Au contraire de la SAR, les éliciteurs produits par les PGPR et impliqués dans l'ISR sont moins bien connus, mais plusieurs molécules bactériennes jouant ce rôle ont été identifiées :

- Les sidérophores produits par les PGPR dans des conditions de carence en fer, peuvent être responsables de l'élicitation de l'ISR chez certaines plantes.
- la flagelline (protéine du filament flagellaire des Eubacteria) des rhizobactéries peut agir comme éliciteur de l'ISR.
- Les lipopolysaccharides (LPS) sont d'autres composés de surface cellulaire des bactéries Gram-négatives, qui contribuent avant tout à la croissance et à la survie des microorganismes sur les plantes en facilitant la colonisation. Cependant, une activité élicitrice des LPS ou, plus spécifiquement, de la chaîne latérale Oantigénique, a été montrée sur différentes plantes
- L'acide salicylique : Certaines souches de PGPR sont capables de produire de l'acide salicylique (SA) sous des conditions limitantes en fer. Dans certains cas, cet acide salicylique d'origine bactérienne joue le rôle d'éliciteur de l'ISR.
- Les antibiotiques : Certains composés synthétisés par les PGPR et isolés à l'origine pour leur activité antifongique sont également inducteurs de l'ISR.