

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique.

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou  
Faculté des sciences biologiques et des sciences agronomiques  
Département d'Agronomie.



# Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme de Master en science agronomique

Spécialité : Production végétale.

## Thème

**Effet de deux souches de *Pseudomonas* spp. Fluorescents sur la biostimulation de la croissance de la Tomate (*Lycopersicon exulentum*) et du Haricot (*Phaseolus vulgaris*).**

Présenté par :

M<sup>elle</sup> IAMRANENE Sadia.

M<sup>elle</sup> HASSAD Louiza.

L'encadreur : M<sup>me</sup> Dahoumane-Larbaoui A. M.A.A

La présidente : M<sup>me</sup> Taleb K. M.C.B

L'examinatrice : M<sup>elle</sup> Boutebtoub W. M.C.B

2021/2022.



## Remerciements

*Au terme de ce travail, nous tenons à remercier.*

*Tout d'abord, Le Dieu le tout puissant qui nous a donné la force et le savoir, le courage, la volonté et la santé afin d'accomplir ce travail.*

*Nous tenons à Remercier et exprimer notre plus profonde Reconnaissance à notre promotrice : madame **Dahoumane-Larbaoui. A**, de nous avoir épaulée tout au long de ce travail, de nous avoir fait profiter de ses connaissances, pour ses encouragements, son orientation, son soutien précieux et ses conseils judicieux lors de la rédaction de notre mémoire.*

*Nos gratitudee vont aux membres du jury ;*

*Nos Sincères Remerciements à Madame **Taleb. K**, d'avoir fait l'honneur de présider le jury.*

*Nos Remerciements vont également à mademoiselle **Boutebtoub. W**, d'avoir acceptée d'examiner et d'évaluer notre travail.*

*Nous Remercions tous ceux et toutes celles qui, pendant ce travail, nous ont dirigés, soutenus, aidés et encouragés.*



## Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail*

*A la lumière de ma vie mon cher père Farid celui qui ma accorde la confiance, le soutins et l'affection et qui s'est changé la nuit en jour pour m'assureur les meilleurs conditions.*

*A ma raison de vivre ma chère mère Nadia celle qui a attendu avec patience les fruits de sa bonne éducation, ses dévouements, son amour et ses sacrifices.*

*A la moitié de mon cœur et ma source de bonheur.*

*A l'être le plus chère à mes yeux mon cher frère Lyes, celui qui a été toujours présent a mes cotés et qui répond toujours oui a mon appel,*

*Que dieu les protèges et les garde pour moi.*

*A tous les membres de ma famille, mes proches et à ceux qui me donnent de l'amoure.*

*A ma chère copine et binôme Hassad Louiza pour l'amitié et l'amour qui nous réunis celle avec qui j'ai partagée tous les beaux moments toute au long de ce projet, et à toute sa famille.*

*A tous mes amis, particulièrement à ma chère Fetta à qui je souhaite plus de succès*

*A tous ceux que j'aime.*

**Sadia.**



## DEDICACE

*Avec l'expression de mes reconnaissance, je dédie ce modeste travail à ceux qui, quels soient les termes embrassés, je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère.*

*A L'homme de ma vie, A toi mon cher père, « **HASSAD RABAH** ». Mon exemple éternel, celui qui s'est toujours sacrifiée pour me voir réussir.*

*A Mon adorable mère, « **HALES FARIDA** ». Pour son amour et qu'elle ma toujours accorde en témoignage de ma reconnaissance envers sa confiance, ses sacrifices et sa tendresse.*

*A Les lumières de mes jours, les sources de mes efforts, les flammes de mon cœur, ma vie et mon bonheur « **LAETICIA** » ET « **LYNDA** ».*

*A Mon soutien moral et source de joie et de bonheur, « **AMIROUCHE** ». Que Dieu le protège et lui offre la chance et le bonheur.*

*A Toute ma famille, tous ceux que j'aime, qui m'aimes et me comblez de conseils, je leurs souhaite une vie pleine du bonheur, du succès, de joie et de santé.*

*A Ma chère binôme « **SADIA** » pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ces années, et les bons moments qu'on a partagé, et A **TOUTE Sa famille**.*

*A Mes chères amis, « **FETTIA, Mounir** ». Aux noms de l'amitié qui nous réunît et ou noms de nos souvenirs inoubliables, A tous ceux qui me sont chères. Je vous remercie à tous les bons moments qu'on a partagés ensembles. Merci pour vote amours et encouragements.*

**LOUIZA**

## Liste des abbreviations

**PGPR:** Pseudomonas Growth Promoting Rhizobactéria.

**ISR:** Induced Systemic Resistance.

**LPS :** Lipopolysaccharide.

**HCN :** Acide Cyanhydrique (Cyanure d'hydrogène).

**DAPG :** 2,4- diacétylphloroglucinol.

**EPR :** Emergence Promoting Rhizobactéria.

**DRB :** Rhizobactéries délétères.

**PGPB:** Pseudomonas Growth Promoting Bacteria.

**BCMV:** Bean common mosaic virus.

**BSP :** Bactéries solubilisant le phosphore.

**AIA :** Acide Indole -3-Acétique.

**DAPG :** 2,4-diacéthyle phoroglucinol.

**PLT :** Pyolutéorine.

**PRN :** Pyrrolnitrine.

**TG :** Taux de Germination..

**RM :** Rouge de méthyle.

**P :** Pseudomonas.

**PVK :** Pikovskaya.

**TSI :** Triple sugariron.

**Ms :** Milieu salt médium.

**KOH :** Hydroxyde de potassium

**ADH :** Arginine di hydrolase.

**TDA** : tryptophane désaminase.

**NH<sub>3</sub>** : Ammoniac.

**H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>** : Peroxyde d'hydrogène.

**Cd** : Cadmium.

## Listes des Figures

<b>Figure 1</b> : Photographie de la bactérie <i>Pseudomonas</i> spp Fluorescents.....	5
<b>Figure 2</b> : Schéma simplifié représentant les effets directs et indirects des rhizobactéries exemple illustré des <i>Pseudomonas</i> spp. Fluorescents.....	6
<b>Figure 3</b> : Rôles de l'AIA chez les plantes.....	10
<b>Figure 4</b> : Principaux antibiotiques sécrétés par les <i>Pseudomonas</i> spp Fluorescent.....	16
<b>Figure 5</b> : Fruit de la tomate.....	20
<b>Figure 6</b> : Culture du haricot.....	23
<b>Figure 7</b> : Principe de la coloration de Gram.....	28
<b>Figure 8</b> : Galerie biochimique classique.....	29
<b>Figure 9</b> : Dispositif expérimental de l'essai de la mise en germination des graines de la tomate et du haricot.....	34
<b>Figure 10</b> : Les plantules du haricot au stade 6 feuilles.....	36
<b>Figure 11</b> : Colonies des souches CH et S20.....	37
<b>Figure 12</b> : Production de pigment fluorescents par les souches S20 et CH.....	38
<b>Figure 13</b> : Observation de la souche S20 sous microscope optique au G : 10×100.....	38
<b>Figure 14</b> : Test Mannitol-mobilité.....	39
<b>Figure 15</b> : Test de la gélatine.....	39
<b>Figure 16</b> : Test uréase, TDA et indole.....	40
<b>Figure 17</b> : Teste ADH.....	40
<b>Figure 18</b> : Réaction VP et RM.....	41
<b>Figure 19</b> : Test TSI des deux souches CH et S20.....	42
<b>Figure 20</b> : Test de tolérance au sel des deux souches CH et S20.....	42
<b>Figure 21</b> : Production d'AIA par les deux souches CH et S20 sur le milieu MS.....	44
<b>Figure 22</b> : Solubilisation de phosphore par la souche S20 sur le milieu PVK.....	46
<b>Figure 23</b> : Effet de la bactérisation sur le taux de germination de la tomate et du haricot.....	48
<b>Figure 24</b> : Cinétique de germination des graines de la tomate cultivées pendant huit jours en boîte de Pétri.....	49
<b>Figure 25</b> : Cinétique de germination des graines du haricot cultivées pendant huit jours en boîte de Pétri.....	49
<b>Figure 26</b> : Effet de la bactérisation sur la longueur de la racine de la tomate et du haricot	50
<b>Figure 27</b> : Effet de la bactérisation sur la longueur de la plumule de la tomate et du haricot.	51

<b>Figure 28 :</b> Index vigor de la tomate et du haricot .....	52
<b>Figure 29 :</b> Effet de la bactérisation sur la hauteur de la partie foliaire du haricot .....	53
<b>Figure 30 :</b> Effet de la bactérisation sur la longueur racinaire du haricot .....	54
<b>Figure 31:</b> Stimulation de la croissance du haricot par les souches bactérisés .....	55
<b>Figure 32 :</b> Effet de la bactérisation sur le poids frais de la partie foliaire du haricot .....	56
<b>Figure 33 :</b> Effet de la bactérisation sur le poids frais de la partie racinaire du haricot.....	57
<b>Figure 34 :</b> Effet de la bactérisation sur le poids sec de la partie aérienne du haricot .....	58
<b>Figure 35 :</b> Effet de la bactérisation sur le poids sec de la partie racinaire du haricot.....	58

## Liste des Tableaux

<b>Tableau 1</b> : Protection des plantes contres différentes maladies d'origine telluriques, assures par des souches de <i>Pseudomonas</i> spp Fluorescents .....	11
<b>Tableau 2</b> : Exemples de <i>Pseudomonas</i> spp Fluorescents induisant l'ISR dans divers Pathosystèmes .....	13
<b>Tableau 3</b> : Caractères physiologiques et biochimiques des deux souches bactériennes CH et S20.....	43
<b>Tableau 4</b> : Effet de la bactérisation sur le taux de germination .....	48
<b>Tableau 5</b> : Effets de la bactérisation sur la longueur de la racicule.....	50
<b>Tableau 6</b> : Effet de la bactérisation sur la hauteur de la plumule .....	51
<b>Tableau 7</b> : L'index vigor de la tomate et du haricot .....	52
<b>Tableau 8</b> : Effet de la bactérisation sur la hauteur de la partie foliaire.....	53
<b>Tableau 9</b> : Effets de la bactérisation sur la longueur racinaire .....	54
<b>Tableau 10</b> : Effet de la bactérisation sur le poids frais de la partie foliaire et racinaire .....	56
<b>Tableau 11</b> : Effet de la bactérisation sur le poids sec de la partie foliaire et racinaire .....	57

# Sommaire

<b>Introduction .....</b>	<b>1</b>
---------------------------	----------

## **Partie I : Etude bibliographique**

### **Chapitre I : Intérêt agroécologique des *Pseudomonas* spp Fluorescents**

1. Introduction au genre <i>Pseudomonas</i> .....	3
2. Effets bénéfiques des <i>Pseudomonas</i> spp fluorescents.....	5
2.1. Stimulation directe de la croissance végétale.....	7
2.1.1. Amélioration de nutrition minérale .....	7
2.1.2. Production de substances de croissance .....	9
2.2. Protection des plantes contre les agents pathogènes .....	10
2.2.1. Induction de la résistance systémique .....	12
2.2.2. Compétition trophique.....	14
2.2.3. Antibiose .....	14
3. Importance des <i>Pseudomonas</i> spp Fluorescents .....	17

### **Chapitre II : Aperçus sur les espèces végétales étudiés**

1. La tomate.....	19
1.1. Généralité sur la culture de la tomate.....	19
1.2. Caractéristiques taxonomiques et morphologiques de la tomate .....	20
1.3. Germination de la tomate .....	21
1.4. Problèmes phytosanitaire .....	21
2. Le haricot.....	22
2.1. Généralité sur la culture du haricot .....	22
2.2. Caractéristiques taxonomiques et morphologiques du haricot.....	23
2.3. Germination du haricot.....	24
2.4. Problème phytosanitaire .....	25

## Partie II : Matériels et méthodes

1. Matériels biologique.....	27
1.1. Souches bactériennes.....	27
1.2. Matériel végétal.....	27
1.3. Substrat.....	27
2. Caractérisation morphologique des souches bactériennes .....	27
2.1. Caractérisation macroscopique.....	27
2.2. Caractérisation microscopique .....	27
2.3. Caractérisation biochimique.....	29
2.3.1. Galerie biochimique classique.....	29
3. Production de l'acide indole acétique (AIA).....	32
4. Solubilisation du phosphore par les souches bactériennes.....	32
5. Essai de la biostimulation de la croissance végétal.....	33
5.1. Stimulation de la germination .....	33
5.1.1. Désinfection superficielle des semences .....	33
5.1.2. Bactérisation des graines .....	33
5.1.3 Mise en germination.....	33
6. Paramètres étudiées .....	34
6.1. Taux de germination.....	34
6.2. Hauteur de la plumule .....	34
6.3. Longueur de la radicule.....	35
6.4. Index vigor .....	35
7. Stimulation de la croissance des plantules .....	35
7.1. Transplantation.....	35
7.2. Dispositif expérimentale .....	35
7.3. Rappel bactérien.....	36
7.4. Paramètres étudié .....	36

## Partie III : Résultats et discussion

1. Caractérisation des souches bactériennes .....	37
1.1. Caractères macroscopiques et microscopiques .....	37
1.2. Caractères biochimiques.....	39
2. Production de l'acide indole acétique (AIA).....	44
3. Solubilisation du phosphore par les souches bactériennes .....	46
4. Stimulation de la germination par les souches bactériennes .....	47
4.1. Taux de germination.....	47
4.2. Longueur de la radicule.....	50
4.3. Hauteur de la plumule .....	51
4.4. Index vigor .....	52
5. Biostimulation de la croissance des plants du haricot ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ).....	53
5.1. Hauteur de la partie foliaire.....	53
5.2. Longueur racinaire .....	54
5.3. Poids frais de la partie foliaire et racinaire.....	55
5.4. Poids sec de la partie aérienne et racinaire.....	57
Discussion .....	58

<b>Conclusion.....</b>	<b>61</b>
------------------------	-----------

### Références bibliographiques

### Annexes



# **Introduction**

## Introduction

---

La démographie ne cesse de croître à travers le monde, ainsi la population mondiale pourra même dépasser 7 milliards de personnes et près de 10 milliards à l'horizon 2050 (UNFPA, 2011). Cette forte évolution a engendré une forte intensification des systèmes de productions agricoles pour satisfaire des besoins nutritionnels de plus en plus revus à la hausse, sans omettre les objectifs visant le haut rendement des récoltes et l'amélioration des aspects qualitatifs et gustatifs de plus en plus recherchés (Wightwick et Allinson, 2007 ; Tabet-Aoul, 2010).

L'intensification n'a pu se réaliser que grâce à l'utilisation massive des éléments chimiques fertilisants et produits phytosanitaires, qui sont non seulement coûteux mais aussi polluent l'environnement et menacent la santé humaine (Kavino et *al.*, 2010). Ces dernières années, malgré ces effets positifs incontestables engendrés par les intrants chimiques, néanmoins les aspects négatifs commencent à être redoutés sur l'environnement. L'application régulière des engrais chimiques et fongicides présente un risque potentiel sur l'environnement, en particulier si des résidus chimiques persistent dans le sol ou migrent hors site et entrent dans les cours d'eau (Kibria et *al.*, 2010, Komarek et *al.*, 2010).

Face à cette situation où l'utilisation des intrants chimiques devient de plus en plus systématique, l'opinion publique pose avec sérieux la problématique de la pollution de l'environnement et les séquelles sur la santé humaine (Kookana et *al.*, 1998). Suite aux nombreuses alertes de pollution, ces dernières années, il y a regain d'intérêt pour les pratiques agricoles durables et respectueuses de l'environnement. Plusieurs alternatives ont été proposées par les chercheurs dans le sillage d'une agriculture biologique ou peu utilisatrice d'intrants chimiques, comme le recours aux potentialités biologiques (Harish et *al.*, 2008). Parmi ces dernières, les rhizobactéries et particulièrement les PGPR « Plant Growth Promoting Rhizobacteria » associées à la rhizosphère des plantes, ont été testées et jugées bénéfiques pour la croissance des plantes, le rendement et la qualité des récoltes (Silva et *al.*, 2000).

L'application des PGPR dans l'agriculture durable comme bioinoculants, basée sur des bactéries bénéfiques du sol, permet d'améliorer la production de diverses cultures, tout en substituant, totalement ou partiellement, les engrais chimiques, les pesticides et les autres suppléments d'origine chimique (Kloepper et *al.*, 2004 ; Xavier et *al.*, 2004; Rai, 2006). De nombreux laboratoires de recherche dans le monde s'intéressent à l'étude des PGPR.

## Introduction

---

Actuellement, il y a plusieurs inoculants PGPR commercialisés (Saharam et Nehra, 2011). Des études expérimentales ont permis de vérifier leur efficacité en plein champs. Des démonstrations pratiques ont révélé des augmentations de la croissance et du rendement chez diverses plantes, telles que la pomme de terre, la betterave à sucre, le radis, la patate douce, les pommes, les agrumes, la tomate et le haricot (Jourdan, 2008 ; Farzana et *al.*, 2009). Plusieurs essais en conditions contrôlées et en plein champs ont mis en évidence la stimulation de différentes cultures (Hall et *al.*, 1996; Glick et *al.*, 1997; Farzana et *al.*, 2009).

Plusieurs espèces bactériennes font parties des PGPR, parmi ces espèces on a les souches des *Pseudomonas* spp Fluorescents. Les souches du genre *Pseudomonas* sont les plus prédominantes et exercent un effet très appréciable sur la germination, la croissance et le rendement des plantes. Elles sont déjà largement utilisées en système de production biologique puisqu'elles sont déjà d'importants microorganismes solubilisant le phosphore, chélatant le fer et aussi se sont des biostimulantes efficaces (Podile et Krishore, 2006).

La majorité des travaux consacrés aux PGPR se base sur leurs activités de biocontrôle de nombreux agents phytopathogènes, tout en soulignant des activités de phytostimulation considérées comme conséquences du processus de bioprotection. Il est à souligner que les PGPR possèdent, en outre, des mécanismes associés directement au processus de biostimulation. Dans ce contexte, notre étude s'intéressera exclusivement aux actions de phytostimulation sans l'implication du biocontrôle.

De ce fait, l'objectif de notre étude consiste à la mise en évidence et l'évaluation des potentialités de la biostimulation de la croissance végétale au stade germination et au stade plantule de deux souches rhizobactériennes CH et S20 de *Pseudomonas fluorescens* en association avec deux espèces végétale, le haricot (*Phaseolus vulgaris*) variété Djadida et la tomate (*Solanum lycopersicum*) variété Marmande. Dans cette étude, nous nous intéressons aux mécanismes responsables de la biostimulation et cela en mettant en évidence les potentialités de ces souches bactériennes dans la production de l'acide-indole-acétique (AIA) et la solubilisation du phosphate tricalcique.



**Partie I :**  
**Etude bibliographique**

## Chapitre I : Intérêt agroécologique des *Pseudomonas* spp Fluorescents

Le concept de rhizosphère a été introduit pour la première fois par Hiltner pour décrire la zone étroite du sol entourant les racines dont les propriétés physiques, chimiques et biologiques ont été modifiées par l'activité de la racine. La rhizosphère contenant plus d'un million de micro-organismes par gramme de sol, ce qui entraîne une activité microbienne particulièrement excessive dans la zone à influence racinaire, elle est le siège de plusieurs interactions entre les micro-organismes et les racines. Ces interactions sont bénéfiques, nocives ou neutres pour les plantes. En effet, les microorganismes trouvent des substrats énergétiques libérés par les racines dans ce milieu. Ces substrats sont nécessaires à leur métabolisme: sucres, acides aminés, acides organiques, hormones (Bashan et *al*, 2013 ; Figueiredo et *al*, 2016). Ces grands groupes actifs de bactéries sont connues sous le nom de Rhizobactéries favorisant la croissance des plantes (PGPR).

Parmi ces rhizobactéries, les *Pseudomonas* spp. Fluorescents qui présentent un intérêt scientifique majeur, se caractérisent par une diversité génétique et phénotypique en relation avec leur impact positif sur le fonctionnement de la rhizosphère, en exerçant des actions directes et/ou indirectes sur le développement de la plante, de plus ils représentent un modèle d'étude pour la compréhension des interactions avec les microorganismes. Ces rhizobactéries peuvent devenir un complément ou même une réelle alternative pour les techniques de lutte et de fertilisation chimiques (Benchabane et *al*, 2013).

### 1. Introduction au genre *Pseudomonas*.

Les *Pseudomonas* ont été observés au début de l'histoire de la microbiologie. Le nom commun *Pseudomonas* créé pour ces organismes a été défini en termes assez vagues par Migula en 1894 comme un genre de bactéries Gram-négatives en forme de bâtonnet avec des flagelles polaires. Peu de temps après, les *Pseudomonas* ont été isolées de nombreuses niches naturelles et un grand nombre de noms d'espèces ont été initialement attribués au genre (Williams et al, 1986).

Le genre *Pseudomonas* englobe des bactéries ubiquitaires possédant une grande diversité, inclut des espèces saprophytes et parasites (Lefrère et Rouger, 2000 ; Choudhary et al. , 2009). Ces bactéries se caractérisent par un métabolisme aérobie strict. Certaines souches ont une respiration anaérobie avec le nitrate comme accepteur terminal d'électrons et/ou l'arginine.

Les *Pseudomonas* sont mobiles grâce à un ou plusieurs flagelles polaires (Eyquem et al.2000 ; Haas et Défago, 2005). Elles sont rarement immobiles et sont non sporulés. La plupart des *Pseudomonas* se cultivent à 30°C et se caractérisent par une croissance lente à 4°C (Eyquem et al, 2000). Différentes critères ont été utilisés pour l'élaboration d'un système de classification des espèces de *Pseudomonas*. Ces bactéries ont été caractérisées phénotypiquement, en ce basant sur plusieurs caractéristiques : la morphologie, la pigmentation, la réaction aux colorants et les exigences nutritionnelles (Jonhson et Palleroni, 1989 ; Palleroni, 1993). Pour élucider la réelle classification de ces *Pseudomonas*, il est important de les caractériser génotypiquement (De Ley et De Vos, 1984).

Les *Pseudomonas* spp. Fluorescents ont été étudiés depuis des décennies pour leurs effets bénéfiques sur la stimulation de la croissance et la suppression efficace des maladies telluriques des plantes (Bakker et al, 2007). Ces rhizobactéries possèdent de nombreuses caractéristiques qui permettent leur utilisation dans la protection des cultures agricoles (Weller, 2007) ; elles montrent de multiples propriétés : l'utilisation efficace des exsudats racinaires, la colonisation et la multiplication dans la rhizosphère, la spermosphère et à l'intérieur des cellules végétales (Weller et al, 2002).

La diversité métabolique des *Pseudomonas* spp. Fluorescents confère à ces bactéries une plasticité importante pour s'adapter à de différents environnements (Latour et Lemanceau, 1997 ; Misko et Germida,2002), ce qui implique leur utilisation comme biofertilisant, phytostimulateurs et agents de lutte biologiques (Misko et Germida,2002). Ces rhizobactéries fluorescents sont devenues un modèle important pour les études écologiques de la rhizosphère et l'analyse du métabolisme secondaire bactérien (Couilleront et al, 2009).



**Figure 1 :** Photographie de la bactérie *Pseudomonas* spp Fluorescents (10).

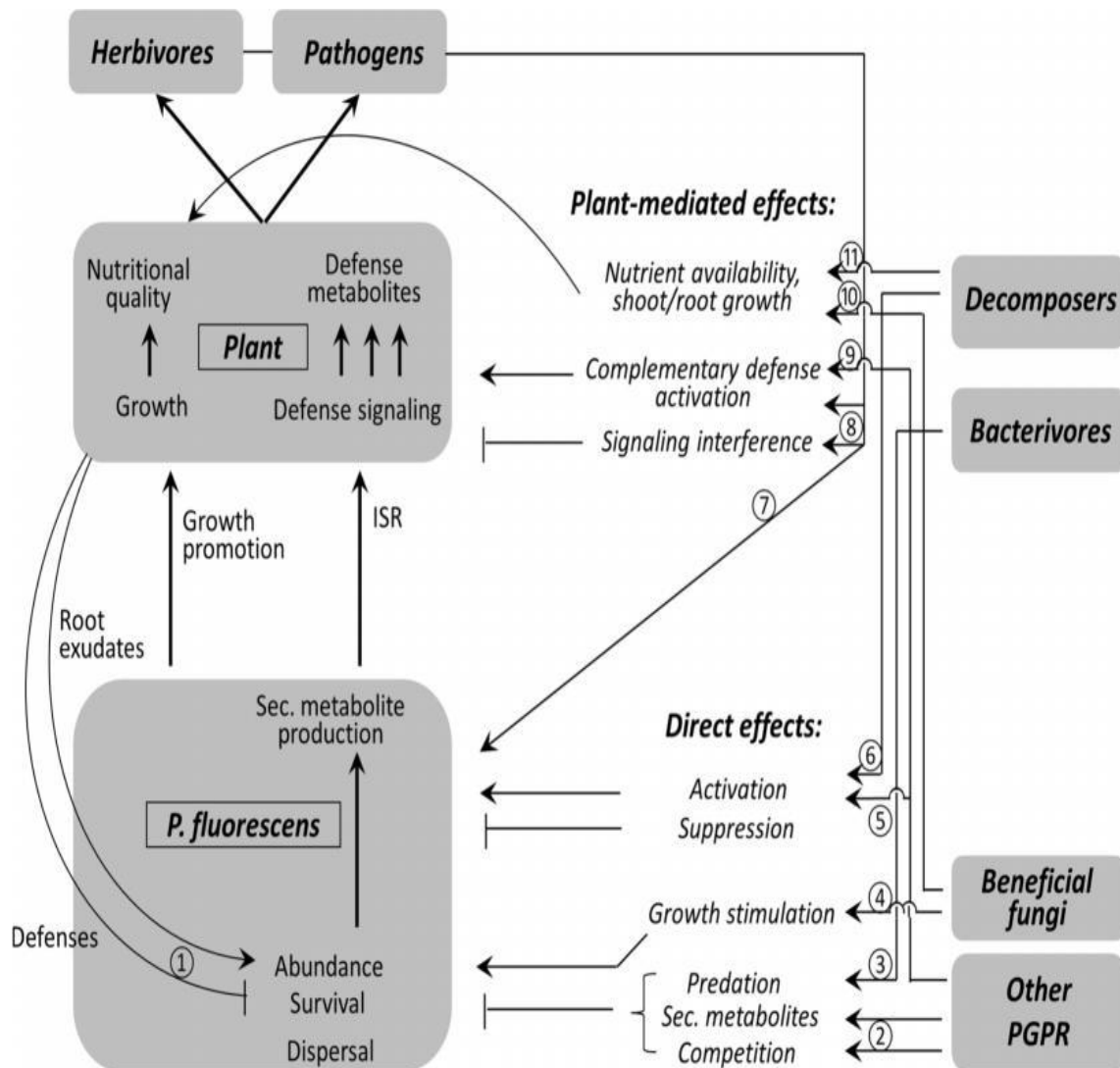
## **2. Effets bénéfiques des *Pseudomonas* spp fluorescents.**

Parmi les rhizobactéries du groupe PGPR les plus étudiés et ayant démontrés de forts potentialités phytobénéfiques en terme de biocontrôle et/ou de stimulation de la croissance des plantes, de nombreuses souches appartenant aux genres *Pseudomonas* et *Bacillus*. Par ailleurs, se sont les groupes de bactéries les plus dominants dans la rhizosphère et souvent les genres PGPR les plus couramment étudiés (Morgan et *al.*, 2005). Il faut mentionner que plusieurs mécanismes sont impliqués dans les interactions bénéfiques entre plante-rhizobactéries (Müller et *al.*, 2009).

La finalité de la bactérisation est d'augmenter le rendement des cultures. Seules certaines souches bactériennes semblent présenter cette capacité (Weller, 1988). Elles ont été appelées «Plant Growth Promoting Rhizobacteria» (PGPR) par Kloepper et Schroth (1978). De nombreux travaux ont montrés que des bactéries bénéfiques, en particulier les *Pseudomonas* spp. Fluorescents de la rhizosphère, en contrôlant la communauté microbienne de la rhizosphère ou en luttant contre des pathogènes majeurs, améliorent l'état sanitaire des plantes et stimulent ainsi leur croissance.

L'augmentation du rendement d'une culture bactérisée résulte de 2 effets bénéfiques principaux : la stimulation de croissance des plantes et la protection des plantes contre les maladies d'origine tellurique. D'autres effets bénéfiques ont également été décrits. Ainsi certaines souches de *Pseudomonas* stimulent la germination des graines. D'autres influencent

positivement les interactions entre les microorganismes symbiotiques (*Rhizobium*, *Bradyrhizobium*; champignons mycorhiziens) et la plante hôte. (Lemanceau., 1992). Selon Beauchamp et al. (2021) ces bactéries améliorent la disponibilité et l'efficacité d'utilisation des nutriments par les plantes, cela par différents mécanismes directs et indirects.



**Figure 2 :** Schéma simplifié représentant les effets directs et indirectes des rhizoéobactéries : exemple illustré des *Pseudomonas* spp. Fluorescents (Hol et al., 2013).

## 2.1. Stimulation directe de la croissance végétale.

Selon Lemanceau, (1992) et Digat, (1994) les effets de la stimulation peuvent intervenir directement dans les différents stades de la croissance du végétal, se traduisant par des gains au niveau de la germination et de la levée, du fonctionnement et de la croissance du système racinaire et du bilan global en nutrition hydrominérale de la plante. Cette stimulation touche la plante entière ou parfois les racines uniquement en produisant de nouvelles racines qui représentent un accès très facile des nutriments à la plante, et par conséquent l'amélioration de sa nutrition (Yang et Crowley, 2000).

Les *Pseudomonas* spp Fluorescents stimulent et améliorent la germination des graines et la levée des plantes particulièrement dans des conditions environnementales défavorables à la germination (Compant et al., 2005 ; Haas et Defago, 2005). En effet, ces bactéries colonisent efficacement la spermosphère et assurent une bioprotection des semences vis-à-vis des rhizobactéries délétères (DRB) (Alström, 1991), avant et pendant leur germination (Digat, 1994).

De nombreux travaux font état d'une stimulation de la croissance des plantes et du rendement des cultures après bactérisation. Il apparaît clairement que l'augmentation de rendement, observée en conditions normales de production, est toujours inférieure à l'augmentation de croissance des plantes cultivées en conditions contrôlées (culture en pots et en serre ou en chambre climatisée) (Lemanceau, 1992).

Les *Pseudomonas* spp Fluorescents sont capables de synthétiser différents métabolites secondaires, qui peuvent influencer positivement sur la croissance des plantes et sont impliqués également dans les relations de reconnaissances entre ces bactéries et les plantes (Sturz et Christie, 2003 ; Zahir et al, 2004).

### 2.1.1. Amélioration de la nutrition minérale.

L'amélioration de l'alimentation minérale de la plante en phosphore a été la première hypothèse proposée pour expliquer l'effet bénéfique enregistré à la suite de la bactérisation de plantes (Gerretsen, 1948). Certaines souches bactériennes augmentent la disponibilité des minéraux et de l'azote dans le sol afin d'augmenter la croissance (Sivasakthi et al, 2014).

La plupart du phosphore dans le sol se présente sous la forme de phosphates insolubles et ne peuvent être utilisés par les plantes. Les bactéries à potentiel de solubilisation du phosphate (BSP) pourraient jouer un rôle important dans la fourniture de phosphate aux plantes d'une façon conviviale et durable. Ces microorganismes peuvent convertir les composés phosphatés insolubles en formes solubles et les rendre disponibles aux plantes cultivées. Diverses espèces bactériennes des genres, *Bacillus*, *Rhizobium* et *Pseudomonas* se sont avérées être les bactéries les plus puissantes en solubilisation du phosphate (Banerjee et al., 2006).

Les bactéries solubilisant le phosphate (BSP) peuvent augmenter la teneur en phosphore des tissus végétaux (Awasthi et al., 2011), qui a des effets bénéfiques sur la croissance des plantes qui varient significativement en fonction des conditions environnementales, des souches bactériennes, du végétale et des conditions du sol (Şahin et al., 2004).

Selon plusieurs auteurs, les *Pseudomonas* spp Fluorescents sont parmi les solubilisateurs de phosphate les plus performants mais aussi se sont des productrices de sidérophores.

Les sidérophores microbiens et en particulier ceux des *Pseudomonas* spp Fluorescents peuvent influencer directement l'alimentation de la plante en fer (Crowley et al, 1987). Ainsi le fer chélaté par les sidérophores peut être utilisé par les graminées (Lemanceau, 1992). Certains PGPR produisent des sidérophores contenant des groupements fonctionnels capables de capter le fer en le rendant assimilable par les plantes (Kirdi et Zermane, 2010).

Par ailleurs plusieurs études ont montré que la production de sidérophores par les *Pseudomonas* spp. Fluorescents bénéfiques est en partie responsable de l'augmentation de la croissance des plantes (Leong, 1986, Weller, 1988).

Les *Pseudomonas* sp ont la capacité d'utiliser des sidérophores produits par diverses espèces de bactéries et de champignons. *Pseudomonas putida* peut utiliser les sidérophores hétérologues produits par les microorganismes de la rhizosphère pour améliorer le niveau de fer à sa disposition dans l'habitat naturel (Loper et Henkels, 1999).

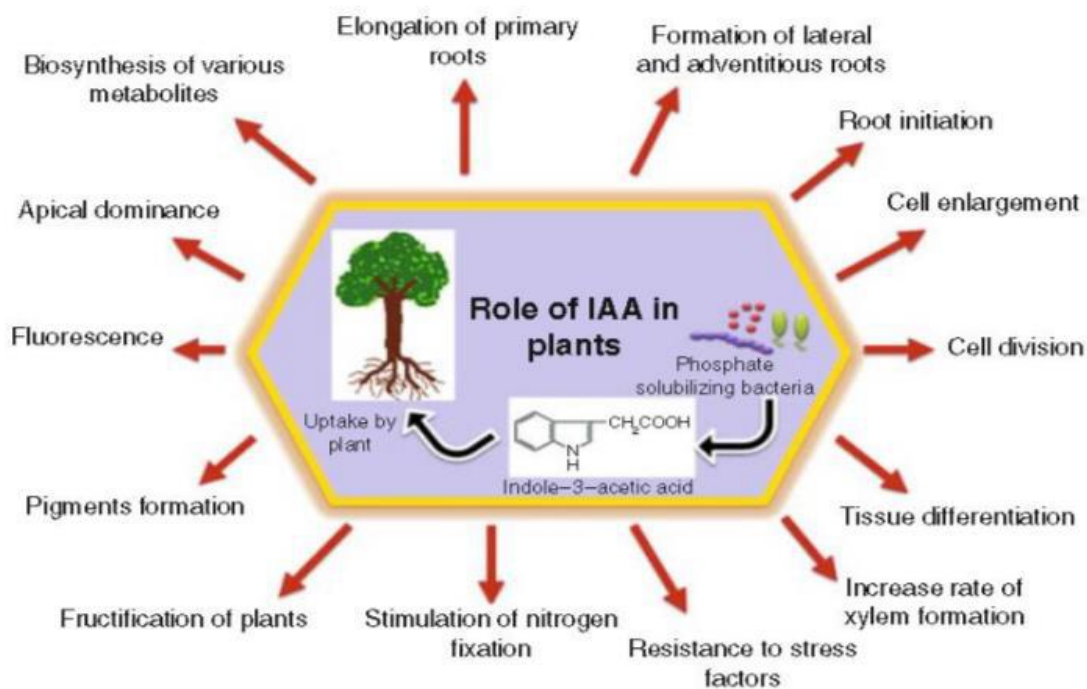
### 2.1.2. Production de substances de croissance.

La stimulation de la croissance des plantes bactérisées peut être due à la synthèse microbienne de substances de croissance analogues aux phytohormones (Persello-Cartieux et al, 2003 ; Romans et al., 2007) telles que : l'auxine, l'acide gibbérellique, cytokinines et de l'éthylène (Gutierrez-Manero et al, 2001), ces substances peuvent être absorbées par les racines des plantes. La production d'acide indole-3-acétique par les rhizobactéries joue un rôle important dans les interactions bactériennes des plantes. Diverses espèces bactériennes possèdent la capacité de produire la phytohormone auxine (AIA).

Les *Pseudomonas* spp Fluorescents peuvent stimuler la croissance des plantes en produisant de l'acide indole 3-acétique (AIA) (Patten et Glick, 2002), qui constitue une hormone primordiale pour le développement des plantes et l'une des principales raisons de l'augmentation du rendement (Khakipour et al., 2008).

L'acide Indole-3-acétique (AIA) est l'auxine naturelle la plus courante dans le monde végétal. Elle a un effet positif sur la croissance des racines, la prolifération cellulaire et l'absorption des minéraux et des nutriments du sol par la plante. Cette phytohormone augmente le taux de développement du xylème et des racines, contrôle les processus de croissance végétative, initie la formation latérale et l'adventice de la racine, affecte la photosynthèse, la formation des pigments, la biosynthèse de divers métabolites et la résistance aux conditions stressantes (Vessey, 2003). Selon O'Gara et al (2008), l'AIA est reconnue comme une auxine principale chez les plantes, impliqué dans le contrôle de la croissance des fruits, de la dominance apicale, de l'élongation des tiges et de nombreux processus mettant en jeu la division et différenciation cellulaires.

Ainsi, Libbert et al. (1969) ont montré que des auxines produites par des microorganismes telluriques pouvaient être assimilées par différentes plantes (maïs, pois, concombre). Différents auteurs ont mis en relation l'aptitude de souches microbiennes à produire les substances de croissance *in vitro* et leur aptitude à modifier, *in vivo*, la morphologie des plantes de manière analogue aux substances de croissance concernées (Lemanceau, 1992).



**Figure 3 :** Rôles de l'AIA chez les plantes. (Khan *et al.* , 2009).

## 2.2. Protection des plantes contre les agents pathogènes.

La protection contre les microorganismes pathogènes par des *Pseudomonas* spp Fluorescents antagonistes permet de soustraire la plante à leur activité néfaste.

Klopper et Schroth (1981) ont été les premiers à mettre en évidence l'effet bénéfique indirect d'une souche de *Pseudomonas* spp Fluorescent sur la croissance des plantes, car les résultats de leurs expériences les ont conduites à éliminer l'hypothèse de l'influence directe de la souche de *Pseudomonas* sur la croissance et ils ont suggérés que l'effet bénéfique pourrait être lié à une modification des équilibres microbiens en faveur de la plante. (Lemanceau ,1992).

Les *Pseudomonas* spp. Fluorescents ont été étudiés depuis des décennies pour leurs effets bénéfiques sur la suppression efficace des maladies telluriques des plantes (Bakker *et al.*, 2007). Ces rhizobactéries possèdent de nombreuses caractéristiques qui permettent leur utilisation dans la protection des cultures agricoles (Weller, 2007).

Les modèles biologiques utilisés exposent différentes souches de *Pseudomonas* et différentes maladies (**Tableau 1**). Les problèmes pathologiques les plus étudiés sont : les fontes de semis, les fusarioses et les pourritures racinaires (Leeman *et al.*, 1991 ; Lemanceau et Alabouvette, 1991).

Plusieurs souches de *Pseudomonas* spp. Fluorescents ont été signalées par leur effets antagoniste (Lepoivre, 2003 ; Kwak *et al.*, 2011). L'antagonisme peut résulter d'un ou de plusieurs mécanismes en fonction de l'antagoniste impliqué (Whipps, 2001), en faisant intervenir divers métabolites qui peuvent affecter les pathogènes par des réactions d'antibiose et/ou de compétition.

**Tableau 1** : Protection des plantes contre différentes maladies d'origine telluriques, assurées par des souches de *Pseudomonas* spp Fluorescents (Lemanceau, 1992).

Maladies	Microorganismes pathogènes	Références
Chancre bactérien	<i>Xanthomonas citri</i>	Unnamalai et Gnanamanickam (1984)
Fonte de semis	<i>Pythium</i> spp  <i>Rhizoctonia solani</i>	Elad et Chet (1987) Howell et Stipanovic (1980) Loper (1988) Walther et Gindrat (1988) Weller et Cook (1986) Howell et Stipanovic (1979)
Fusarioses * de pourriture * vasculaires	<i>Fusarium oxysporum</i> f sp <i>radicis lycopersici</i> <i>Fusarium solani</i> <i>Fusarium oxysporum</i> f spp	Lemanceau et Alabouvette (1991)  Anderson et Guerra (1985) Duijff <i>et al</i> (1991) Klopper <i>et al</i> (1980b) Leeman <i>et al</i> (1991) Lemanceau (1988) Park <i>et al</i> (1988) Scher et Baker (1982) Van Peer <i>et al</i> (1990b)
Jambe noire de la pomme de terre	<i>Erwinia carotovora</i>	Rhodes et Logan (1986) Xu et Gross (1986ab)
Pertes et pourritures racinaires pourriture du collet	<i>Pythium</i> spp  <i>Sarocladium oryzae</i> <i>Sclerotium rofsii</i> <i>Rhizoctonia solani</i> <i>Thielaviopsis basicola</i>	Becker et Cook (1988) Suty <i>et al</i> (1992) Weller et Cook (1986) Sakthivel et Gnanamanickam (1987) Ganesan et Gnanamanickam (1987) Mew et Rosales (1986) Stuz <i>et al</i> (1986)
Piétin échaudage du blé	<i>Gaeumannomyces graminis</i> var <i>tritici</i>	Brisbane et Rovira (1988) Keel <i>et al</i> (1989) Klopper <i>et al</i> (1980b) Weller et Cook (1983) Wong et Baker (1984)
Tache bactérienne du champignon	<i>Pseudomonas tolaasi</i>	Olivier et Guillaumès (1981)
Verticilliose	<i>Verticillium dahliae</i>	Leben <i>et al</i> (1987)

### 2.2.1. Induction de la résistance systémique.

Certains *Pseudomonas* colonisant les racines protègent les plantes des agents phytopathogènes par l'induction de la résistance systémique (Weller 2007). Ce phénomène appelé « résistance systémique induite » (ISR : Induced Systemic Resistance), leur permettant de mieux se protéger contre l'attaque éventuelle de pathogènes (Van Loon, 2007). Ce mécanisme rend la plante plus résistante contre d'éventuelles attaques des agents pathogènes (virus, bactéries et champignons). De nombreux composants bactériens tel que les lipopolysaccharides (LPS), sidérophores, lipopeptides cycliques, peuvent induire une résistance systémique des plantes (Gupta et al., 2015 ; Shameer et Prasad, 2017).

Selon plusieurs auteurs, les *Pseudomonas* spp Fluorescents ont la capacité d'induire une résistance (ISR) chez la plante contre les champignons phytopathogènes (**Tableau 2**), car l'ISR diminue significativement l'impact des maladies causées par des champignons racinaires (*Fusarium oxysporum*, *Pythium naphanidermatum*) ou aériens (*Botrytis Cinerea*, *Alternaria brassicicola*), par des bactéries (*Pseudomonas syringae*, *Erwinia amylovora*, *Xanthomonas compestris*), des virus (tobacco mosaicvirus, tomato mottle virus) et par certaines nématodes (Ongena et al., 2006). Les *Pseudomonas* spp Fluorescens peuvent stimuler le système immunitaire des plantes par activation des mécanismes de défenses. Ce phénomène d'induction de résistance systémique par les rhizobactéries est considéré comme une stratégie prometteuse dans la lutte biologique contre les maladies des cultures (Ramos Solano et al., 2008a). L'ISR est également peu spécifique concernant la nature de l'agent infectieux contre lequel la phytoprotection est assurée. Etant donné la systémicité du phénomène, l'état induit s'exprime dans tous les organes de la plante, des racines aux feuilles et aux fruits.

**Tableau 2 :** Exemples de *Pseudomonas* spp Fluorescents induisant l'ISR dans divers Pathosystèmes (Adam, 2008).

Genre	Souche	Pathosystème (plante hôte/pathogène)	Références
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	89-B-61	-Tomate/ <i>Phytophthora infestans</i> . -Tomate/cucumber mosaic virus -Tabac/ <i>Peronospora tabacina</i> - <i>Arabidopsis/Pseudomonas syringae</i> -concombre/Scarabee du concombre	- Yan et al., (2002). -Raupach et al., (1996). -Zhang et al., (2002). -Ryu et al., (2003). -Zehnder et al., (2001).
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	CHAO	- <i>Arabidopsis/Peronospora parasitica</i> -Tabac/Tobacco necrosis virus	-Iavicoli et al., (2003). - Maurhofer et al., (1994; 1998).
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	WCS417r	-Oeillet/ <i>Fusarium oxysporum</i>  - <i>Arabidopsis/ Fusarium oxysporum</i> - <i>Arabidopsis/ Pseudomonas syringae</i>  -Tomate/ <i>Fusarium oxysporum</i> . -Radis/ <i>Fusarium oxysporum</i>	-Van Peer et al., (1991); Van Peer et Schippers. (1992). Steijl et al., (1999). -Pieterse et al., (1996). - Van Wees et al., (1997) ; Pieterse et al., (1998) ; Tom et al., (2002a) - Duijff et al., (1997). -Hoffland et al., (1996).
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	WCS374r	-Radis/ <i>Fusarium oxysporum</i>  - <i>Arabidopsis/ Pseudomonas syringae</i>	-Leeman et al., (1995a ; 1995b ; 1996). - Hase et al., (2003).
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	S97	-Haricot/ <i>Pseudomonas syringae</i>	-Alstr.m, (1991).
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	EP 1	-Canne à sucre/ <i>Colletotrichum falcatum</i>	-Viswanathan et Samiyappan, (2002a ; 2002b).
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	PF 1	-Riz/ <i>Rhizoctonia solani</i> -Canne à sucre/ <i>Colletotrichum falcatum</i> .	-Nandakumar et al., (2001). -Viswanathan et Samiyappan, (2002a ; 2002b).
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	A506	-Pomme / <i>Erwinia amylovora</i>	-Momol et al., (1999).
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	sp.	-Bettrave / <i>Heterodera Schachtii</i>	-Oostendorp et Sikora, (1990).
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	sp.	-Tomate/ <i>Meloidogyne incognita</i>	-Santhi et Sivakumar, (1995).
<i>Pseudomonas putida</i>	BTP1	-Haricot/ <i>Botrytis cinerea</i>	-Ongena et al., (2004 ; 2005c).
<i>Pseudomonas putida</i>	WCS358r	- <i>Arabidopsis/Pseudomonas syringae</i> - <i>Arabidopsis/ Fusarium oxysporum</i>	-Van Wees et al., (1997) ; Meziane et al., (2005).

### 2.2.2. Compétition trophique.

La compétition est une interaction directe ou indirecte pour une ressource insuffisante pour deux espèces occupants une même niche écologique (Bronstein, 2004), cette interaction est un mécanisme fondamental avec lequel les PGPR protègent les plantes. Les micro-organismes vivants dans la rhizosphère font des effets compétitifs pour l'eau, les nutriments et l'espace et parfois améliorent leur compétitivité en développant une relation intime en association avec les plantes (Hartmann et *al.*, 2009). Ces micro-organismes jouent un rôle important dans la croissance et l'adaptation écologique de leur hôte.

Un mécanisme important pour la suppression des microorganismes pathogènes par les agents de biocontrôle peut résulter de la compétition pour les nutriments et les niches (Bashan et de-Bashan, 2005 ; Shtark et *al.*, 2010).

Même si le rôle de la compétition pour l'espace ne peut être complètement exclu, l'essentiel des travaux relatifs à la compétition, instaurée par les *Pseudomonas* spp Fluorescents, porte sur la compétition trophique et, en particulier, sur la compétition pour le fer, comme en attestent les différentes synthèses bibliographiques relatives à ce sujet (Heming, 1986, Leong, 1986, Neilands et Leong, 1986, Loper et Buyer, 1991). Cet élément est en effet indispensable au métabolisme des microorganismes aérobies. Même s'il constitue le quatrième élément de l'écorce terrestre (Segalen, 1964), le fer est peu soluble et donc peu disponible dans les sols cultivés (Lemanceau, 1992).

Parmi les processus impliqués dans cette compétition, les sidérophores des PGPR présentent plus d'affinité pour les ions ferriques que celle des sidérophores fongiques (Miyazaki et *al.*, 1995). Dileep kumar et *al.*, (2001) ont constaté que les souches de *Pseudomonas* Fluorescens présentent un large éventail d'activité antifongique et antibactérien contre les agents pathogènes par la production de sidérophores.

### 2.2.3. Antibiose.

L'antibiose est définie comme une inhibition d'un organisme par des produits métaboliques d'un autre organisme, qui sont de différentes natures comme des agents lytiques, enzymes, substances volatiles et des substances toxiques. Il joue un rôle important dans le contrôle biologique (Sharma et *al.*, 2013) car il peut inhiber directement la

croissance du pathogène par la production des métabolites aux propriétés antifongiques et/ou antibiotiques.

Les bactéries du genre *Pseudomonas* sont connues pour leur activité antagoniste envers plusieurs phytopathogènes car elles produisent une variété de métabolites antifongiques puissants impliquées dans le biocontrôle, par exemple l'acide cyanhydrique (HCN) (Defago, 1993 ; Haas et Defago 2005). Parmi les substances excrétées par les *Pseudomonas* pour inhiber la croissance des phytopathogènes, nous pouvons citer les antibiotiques (Jacques et al., 1993).

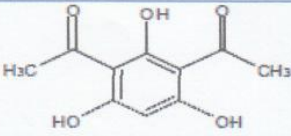
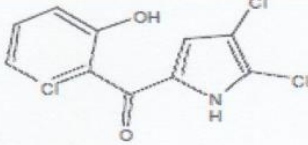
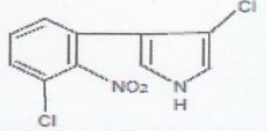
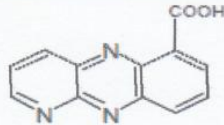
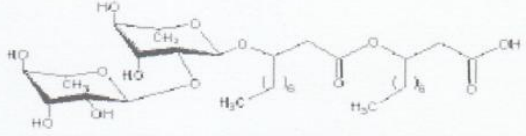
#### ➤ Production d'antibiotique.

Selon WAKSMAN (1943), les antibiotiques sont des substances chimiques produites par des micro-organismes capables d'inhiber le développement et/ou de détruire les bactéries et d'autres micro-organismes. La production d'antibiotiques est reconnue comme un mécanisme important par le quel les PGPR peuvent empêcher la prolifération et développement de certains agents phytopathogènes.

Le groupe de bactéries rhizosphérique le plus étudié en ce qui concerne la production d'antibiotiques est celui des *Pseudomonas* Fluorescent (Allaire, 2005). Ces derniers sont des producteurs potentiels d'une gamme variée d'antibiotiques avec un large spectre d'action, leur permettant de contribuer à la compétence écologique des souches productrices.

Selon Allaire (2005), les *Pseudomonas* spp. Fluorescents sont responsable de la production du premier antibiotique impliqué dans le biocontrôle ; la phenazine dérivative. En plus d'autres antibiotiques sont produits par les rhizobactéries du genre *pseudomonas* : 2,4 diacéthylephoroglucinol (DAPG), Pyolutéorine (PLT), les Pyrrolnitrine (PRN) etc.

Les *Pseudomonas* spp. Fluorescents protège les plantes grâce à leurs production d'antibiotiques qui manifestent des propriétés antagonistes à l'encontre de différents champignons.

Nom	Structure moléculaire
2,4-Diacétylphloroglucinol	
Pyrolutéorine	
Pyrrolnitrine	
Phénazines	
Rhamnolipides	

**Figure 4 :** Principaux antibiotiques sécrétés par les *Pseudomonas* spp Fluorescent (Dwivedi and Johri 2003).

➤ **La production de cyanure d'hydrogène (HCN).**

Selon Haas et *al* (2005), les agents de biocontrôle sont un groupe de micro-organismes qui présentent un potentiel pour limiter les maladies des plantes soit en induisant des réponses de défense des plantes et/ou en inhibant directement l'agent pathogène en produisant des agents antimicrobiens. Parmi ces derniers, on a le cyanure d'hydrogène (HCN) qui est, selon plusieurs études, un trait clé de la lutte biologique et qui est produit par plusieurs espèces de *Pseudomonas*.

L'acide cyanhydrique (HCN) qui est produit par plusieurs *Pseudomonas* sp est un métabolite secondaire responsable de l'activité biologique contre divers champignons (Haas et *al.*, 2003), et il est impliqué dans la suppression d'agents pathogènes comme *Thielaviopsis basicola*, *Septoria tritici* et *Puccinia recondita* (La ville et *al.*, 1998 ; Ramette et *al.*, 2003).

L'HCN produit par les *Pseudomonas* assure un rôle bénéfique pour la plante par son effet antagoniste contre les maladies des racines ou par antagonisme direct avec l'agent pathogène et aussi dans la limitation de développement de pathogènes telluriques, sa production peut même inhiber la croissance de plusieurs champignons phytopathogènes et induit des mécanismes de défense chez les plantes.

La stimulation de la production d'acide cyanhydrique a amélioré l'efficacité des bactéries à réduire la gravité de la maladie (Abbas-Zadeh et al., 2009), et la synthèse de l'HCN agit comme agent inducteur de résistance systémique chez les plantes.

### 3. Importance des *Pseudomonas* spp Fluorescents.

Les souches de *Pseudomonas* spp Fluorescents possèdent une importance agricole et économiques comme agents de lutte biologique, en grande partie en raison de leur capacité à produire des métabolites secondaires (Moynihan et a, 2009).

Les bactéries du genre *Pseudomonas* occupent la plupart des environnements naturels. Elles sont isolées de l'eau, du sol et des végétaux. Elles présentent un fort potentiel d'adaptation physiologique et génétique et sont capables d'utiliser une grande variété de nutriments. D'un point de vue écologique, les *Pseudomonas* regroupent des espèces bénéfiques pour l'environnement et des espèces pathogènes (Talon et al. 2006). Au niveau de la rhizosphère les *Pseudomonas* peuvent avoir un effet bénéfique en mobilisant certains nutriments nécessaires à la croissance de la plante. Elles peuvent aussi la protéger contre des micro-organismes pathogènes en stimulant les mécanismes de résistance intrinsèques de la plante par la sécrétion des composés antibactériens et antifongiques et/ou par la compétition vis-à-vis de certains nutriments. C'est notamment le cas de souches de *Pseudomonas* Fluorescens, décrites comme des bactéries phytoprotéctrices jouant un rôle prépondérant dans le biocontrôle de la rhizosphère (Walsh et al. 2001).

Selon Mazzola & White, (1994) & Gardan et al, (1992), plusieurs souches de *Pseudomonas* ont été appliquées sur des graines de céréales ou directement sur les sols pour concurrencer d'autres microbes et champignons pathogènes.

Les *Pseudomonas* spp Fluorescents ont un rôle aussi dans la phytoremédiation. D'après Yingjie et al (2020), les bactéries favorisant la croissance des plantes (PGPB) peuvent favoriser la photosynthèse et la production de la biomasse, améliorant ainsi l'efficacité de la phytoremédiation du cadmium (Cd). Les souches de *Pseudomonas* spp Fluorescens peuvent être des agents bactériens prometteurs appliqués aux pratiques de phytoremédiation du Cd.

## Chapitre II : Aperçus sur les espèces végétales étudiés

### 1. La tomate.

#### 1.1. Généralité sur la culture de la tomate.

Au début des années 1700, Linnæus a classé les tomates dans le genre *Solanum* en se basant sur leurs caractéristiques visibles. Au milieu des années 1700, Philip Miller, un autre botaniste qui n'était pas d'accord avec le classement de Linnæus, a classé les tomates dans le genre *Lycopersicon*. Il pensait que les tomates appartenaient à un genre différent des autres espèces de solanacées toxiques. Plus récemment, les taxonomistes ont reclassé l'espèce, le remettant dans le genre *Solanum* en se basant sur des informations génétiques (1).

La tomate est une plante annuelle de la famille des Solanacées, originaire d'Amérique du Sud (Colombie, Équateur, Pérou, nord du Chili) (Laumonier, 1979). C'est l'une des cultures les plus répandues à travers le monde. C'est une source importante de vitamines ainsi qu'une culture de rente importante pour les petits exploitants et pour les agriculteurs/trices commerciaux qui ont une exploitation moyenne (De Broglie et Guérault, 2005).

Le terme tomate désigne aussi ce fruit charnu, qui est l'un des aliments les plus importants dans l'alimentation humaine et qui se consomme frais ou transformé. C'est l'ingrédient de cuisine le plus consommé dans le monde après la pomme de terre. Elle est cultivée sous presque toutes les latitudes, sur une superficie d'environ 3 millions d'hectares, ce qui représente près du tiers des surfaces mondiales consacrées aux légumes (Rick, 1979 ; Laterrot et Philouze, 1995).

D'après Chaux et Foury (1994), la tomate représente 15% de production légumineuses mondiales avec une superficie de 10 million d'hectare, permettant une production d'environ 65 million de tonnes.



**Figure 5 : Fruit de la tomate (2).**

### **1.2. Caractéristiques taxonomiques et morphologiques de la tomate.**

La tomate a aussi été appelée *Lycopersicon esculentum*. Cependant, des études récentes en génomique classent la tomate dans le genre *Solanum* (3), le même que la pomme de terre pour devenir *Solanum lycopersicum* (4), sa classification est la suivante (5) :

- Règne : Végétal.
- Embranchement : Angiospermes.
- Classe : Magnoliopsida.
- Ordre : Solanales.
- Famille : Solanacées.
- Genre : *Solanum*.
- Espèce : *Solanum lycopersicum*.

La tomate est une plante herbacée annuelle à port rampant, aux tiges ramifiées. Il existe trois ports : retombant, semi-retombant et horizontal. De nos jours, il est difficile de déterminer la taille de la tomate puisqu'on utilise exclusivement des hybrides à croissance indéterminée. Il est nécessaire de les palisser car la tige est très peu ligneuse et a une section creuse. Pour palisser, on entoure un lien autour de la tige, lien que l'on accroche à un support ou à une bobine reliée à la charpente de la serre (FAO, 1987 ; Abderrezak, 2001). Chez la tomate, le système racinaire est très puissant et ramifié sur les trente premiers centimètres. Ce système racinaire est pivotant.

La tomate est une plante de climat tempéré chaud. Sa température idéale de croissance se situe entre 15 °C (la nuit) et 25 °C (le jour). Elle craint le gel et ne supporte pas les températures inférieures à + 2 °C. C'est une plante héliophile, elle demande une hygrométrie moyenne, parfois un apport de CO<sub>2</sub> (sous serre). Sa période de végétation est assez longue : il faut compter entre cinq et six mois entre le semis et la première récolte (6).

### **1.3. Germination de la tomate.**

La durée de germination des graines de tomates est d'environ une semaine à une température de 22°C. Plus la température est basse, plus la germination sera longue. L'humidité est également un facteur essentiel à une bonne levée, un terreau trop sec est un frein à la germination. Étant donné la date des semis, ceux-ci s'installent généralement à l'intérieur, à proximité d'une source de chaleur. Ils n'auront besoin de lumière qu'une fois levés, mais à ce moment là ils devront être bien exposés. Un manque de lumière au tout début du développement produit des plants aux tiges grêles, moins robustes. La chaleur reste un critère important de bon développement, bien qu'à un niveau un peu moindre que pour la germination (7).

### **1.4. Problèmes phytosanitaire.**

La culture de la tomate peut être attaquée par différents agents pathogènes et ravageurs. D'après Nichadi et al (2002), les principaux problèmes phytosanitaires que peut rencontrer une culture de tomate sont :

- **Les ravageurs :** pucerons, aleurodes, mineuses, noctuelle de la tomate, doryphore, nématodes, vers du sol, thrips, mouche blanche, araignée rouge.

- **Les maladies cryptogamiques** : fonte des semis, anthracnose, alternariose, cladosporiose, pied noir de la tomate, mildiou de la tomate, pourriture grise, fusariose de la tomate, septoriose.
- **Les maladies bactériennes** : chancre bactérien (Benchaabane *et al.*, 2008) causé par *Clavibacter michiganensis* subsp. *Michiganensis*, la tache bactérienne, causée par *Xanthomonas campestris* pv. *Vesicatoria* et la moucheture bactérienne, causée par *Pseudomonas syringae* pv. *Tomato*.
- **Les maladies virales** : bronze de la tomate, mosaïque du tabac, maladie filiforme.

Il y a aussi la salinité du sol qui est une contrainte abiotique majeure qui affecte négativement les aspects physiologique et biochimique des cultures de la tomate, entraînant une réduction de son rendement (Ruiz-Lozano *et al.*, 2012 ; Almeida *et al.*, 2014). En plus, elle induit un stress osmotique, une sécheresse physiologique et un déséquilibre ionique, désactivant ainsi les fonctions vitales cellulaires de la plante (Djerroudi *et al.*, 2011 ; Taffouo *et al.*, 2013; Gupta and Huang, 2014). Cette contrainte affecte à la baisse de la disponibilité hydrique, réduit le taux de la respiration (Cramer *et al.*, 2013), la distribution des sels minéraux (Babu *et al.*, 2012) et les variations de la pression de turgescence (Shabala and Munns, 2012).

## 2. Le haricot.

### 2.1. Généralité sur la culture du haricot.

L'haricot vert (*Phaseolus vulgaris*) est une légumineuse alimentaire appartenant à la famille des Fabaceae, originaire d'Amérique centrale et d'Amérique du Sud (Brigide *et al.*, 2014). Elle joue un rôle important dans l'alimentation humaine comme source de vitamines, de protéines, de fibres, de sels minéraux et dans la fixation biologique de l'azote (Fortin, 1996). Cette espèce se caractérise par sa capacité à fixer l'azote dans le sol (Amanuel *et al.*, 2000), elle est utilisée pour améliorer les conditions du sol.

Le haricot est considéré comme étant une culture de saison chaude, sensible aux températures extrêmes. Les températures basses ralentissent la croissance de la plante, alors que les températures élevées l'accélèrent. En général, les plantes sont plus adaptatives pendant les jours courts, appartient à la famille des Légumineuse.

Cette plante occupe une importance agro-économique mondiale avec une production annuelle de 20,4 millions de tonnes en 2008 pour une superficie cultivée de 26,47 millions d'hectares (Djeugap *et al.*, 2014). Par ailleurs, la consommation de produits alimentaires peu transformés, prêts à consommer ou prêts à l'emploi, a augmenté dans le monde au cours de la dernière décennie en raison de leur aspect pratique, de leur fraîcheur et de leur qualité améliorée (Baskaran *et al.*, 2007).



**Figure 6:** Culture du haricot (8).

## **2.2. Caractéristiques taxonomiques et morphologiques du haricot.**

La première description botanique du haricot est due aux botanistes Tragus et Fuchs en 1542. Linné avait classé les haricots connus à son époque en deux espèces, *Phaseolus vulgaris* et *Phaseolus nanus*, distinguant ainsi les formes grimpantes et les formes naines. La classification du haricot est la suivante (9) :

- Règne : Plantae
- Embranchement : spermatophyte.
- Classe : Magnoliopsida.
- Ordre : Fabales.
- Famille : Fabaceae.
- Genre : *Phaseolus*.
- Espèce : *Phaseolus vulgaris*.

Le haricot est une plante herbacée qui présente plusieurs types de port selon les variétés, soit grimpant (dit haricot à rames), soit nain à port érigé et plus ramifié (la quasi-totalité des cultures). Le système racinaire est pivotant et peut atteindre jusqu'à 1,20 m de profondeur dans certains sols. Mais la majorité du système racinaire est réparti en général dans les 60 premiers centimètres du sol. Le système racinaire est constitué d'une racine principale et de racines latérales sur lesquelles se développent des nodosités, résultat d'une symbiose entre la plante et une bactérie du sol du genre *Rhizobium*. La bactérie du sol consomme le carbone présent dans la sève de la plante et, en échange, lui fournit de l'ammoniaque en fixant l'azote atmosphérique (FNAMS, 2021).

L'appareil reproducteur du haricot est constitué de 10 à 15 grappes de fleurs par pied, qui prennent naissance à l'aisselle des feuilles. Une grappe peut être composée de 5 à 15 fleurs de type papilionacé et hermaphrodite. La floraison est échelonnée. La fécondation essentiellement autogame et s'effectue avant que la fleur ne s'épanouisse, même si des fécondations croisées peuvent exceptionnellement avoir lieu grâce à l'action des pollinisateurs (FNAMS, 2021).

### **2.3. Gémination du haricot.**

La germination des graines nécessite une durée de 4 à 8 jours en fonction des conditions thermiques (Hubert., 1978). Les cotylédons sortent du sol plus tard et la première paire de feuilles apparaît.

Parmi les divers facteurs, la date optimale de semis et la meilleure variété sont d'une importance primordiale pour obtenir un rendement potentiel (Amanullah et al., 2002). Les semis précoces d'haricots mange-tout ont produit un rendement et une hauteur de plant supérieurs mais un diamètre de gousse, une matière sèche et une longueur de gousse plus

faibles que ceux semés tardivement (Yoldas et Esiyok, 2007). Un nombre de gousses plus élevé a été obtenu lors du semis précédent par rapport au semis tardif (Escalante et al., 1989).

Le haricot a besoin de chaleur pour germer et s'installer le plus rapidement possible. La levée est rapide et homogène si le sol est suffisamment réchauffé. La croissance du haricot est stoppée en-dessous de 7°C et la plante gèle à 0°C. Son optimum de développement se situe entre 15 et 25°C. Cependant, en période de floraison, un excès de chaleur (> 30°C) accompagné d'un déficit hydrique, provoque une coulure des fleurs (FNAMS, 2021).

Les graines peuvent garder leur faculté germinative de 3 à 5 ans. La germination des haricots est dite « épigée ». Tandis que la racicule s'enfonce dans le sol, la croissance de l'hypocotyle entraîne les cotylédons qui se déploient hors du sol. De ce fait la plante apprécie les sols légers qui favorisent une bonne levée

#### 2.4. Problème phytosanitaire.

Les cultures de haricots sont sujettes à de nombreuses attaques de ravageurs et maladies qui peuvent entraîner d'importants dégâts en l'absence de moyens de lutte appropriés (Belaadi, 2014). Les principaux ennemis, organismes nuisibles et maladies courants de cette culture sont :

- **Les ravageurs :** Mouche blanche (*Tialeurodes vaporariorum*), thrips telles que les thrips des fleurs de l'ouest (*Frankliniella occidentalis*) ainsi que le tétranyque tisserand (*Tetranychus urticae*) et la bruche du haricot (*Acanthoscelides obtectus* Say) (Belaadi, 2014).
- **Les maladies cryptogamiques :** Le botrytis est l'une des principales maladies du haricot, le champignon responsable est *Botrytis cinerea*, on a aussi la rouille du haricot qui est due à *Uromyces appendiculatus*, la sclérotiniose ou pourriture blanche à *Sclerotinia sclerotiorum*, La maladie du pied du haricot à *Fusarium phaseoli* et L'oïdium américain du haricot, dû à *Erysiphe polygoni*, est cantonné aux régions chaudes du nouveau Monde (Belaadi, 2014).

- **Les maladies bactériennes :** Brûlures bactériennes (causées par exemple par *Xanthomonas phaseoli*, *Pseudomonas phaseolicola*, *Xanthomonas fuscans* and *Corynebacterium flaccumfaciens*).
  
- **Les maladies virales :** Virus de la mosaïque commune du haricot (ou BCMV, causé par les virus des mosaïques propagés par les pucerons).



**Partie II :**  
**Matériels et méthodes**

## 1. Matériels biologique.

### 1.1. Souches bactériennes

Pour la réalisation de nos expériences, nous avons utilisé deux souches bactériennes CH et S20 de *Pseudomonas* spp Fluorescens (collection du laboratoire de phytopathologie) qui ont été sélectionnées dans le cadre de travaux précédemment réalisés et qui ont montrés des activités de biostimulation et de biocontrôle très appréciables, telles que les travaux de Moudir et Cherif en 2021

### 1.2. Matériel végétal.

La présente étude a été réalisée avec deux espèces maraichères qui sont la tomate *Solanum lycopersicum*, variété Marmande et le haricot *Phaseolus vulgaris*, variété Djadida qui est une variété locale.

### 1.3. Substrat.

Le substrat utilisé est de la tourbe désinfectée à une température de 120°C pendant 30 minutes.

## 2. Caractérisation morphologique des souches bactériennes.

### 2.1. Caractérisation macroscopique.

La caractérisation morphologique des souches bactériennes a été effectuée sur milieu B de King (**Annexe 1**) après incubation à  $28\pm 2^{\circ}\text{C}$  pendant 24 heures. Elle consiste à une observation à l'œil nu des caractères culturaux tel que : la forme, la couleur l'aspect, les dimensions des colonies, ainsi que la diffusion d'un pigment fluorescent dans le milieu. L'observation du pigment fluorescent se fait à l'œil nu ou sous la lumière ultraviolette.

### 2.2. Caractérisation microscopique.

Cette caractérisation est réalisée par la coloration de Gram qui est une coloration différentielle permettant de classer les bactéries en deux groupes selon la structure de leur paroi en bactéries à Gram positif et à Gram négatif. La coloration de Gram a été réalisée selon la méthode classique décrite par Hildebrand et *al.*, (1988) qui consiste à :

➤ **La préparation du frottis :**

- Nettoyer une lame à l'alcool.
- Déposer une goutte d'eau sur la lame ensuite prélever les bactéries d'une colonie jeune de 24 heures avec l'anse stérile puis frotter la pointe dans la goutte d'eau.
- Passer la lame sur la flamme du bec Bunsen pour fixer l'échantillon à la chaleur.

➤ **La coloration :**

- Déposer quelques gouttes de solution du violet de gentiane sur le frottis fixé et laisser agir une minute.
- Rincer à l'eau distillée stérile, ensuite étaler le Lugol et laisser agir une minute.
- Rincer à l'eau distillée stérile, puis décolorer rapidement avec l'alcool à 90° et rincer avec de l'eau distillée stérile.
- Recolorer avec la Fuchsine et laisser agir une minute.
- Rincer à l'eau et faire sécher la lame.
- En fin déposer une goutte d'huile à immersion et observer au microscope optique au grossissement (10X100).

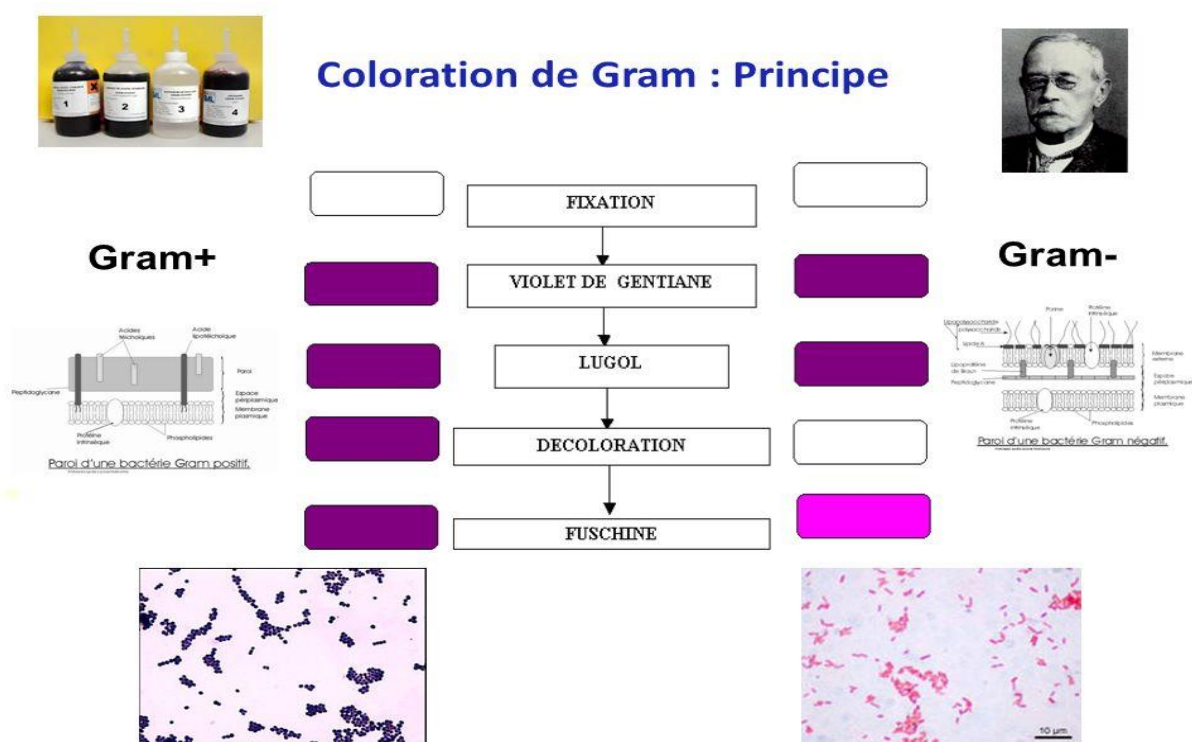


Figure 7 : Principe de la coloration de Gram (11).

### 2.3. Caractérisation biochimique.

#### 2.3.1. Galerie biochimique classique.

La mise en évidence de l'activité biochimique des souches bactériennes a été effectuée par l'utilisation d'une galerie biochimique classique. La caractérisation biochimique correspond aux tests suivants :



**Figure 8 :** Galerie biochimique classique (Originel, 2022).

- **Test de mobilité :** Les souches bactériennes âgées de 24 heures sont ensemencées par piqûre centrale dans le milieu mannitol-mobilité (**Annexe 5**). Ce milieu est semi solide permettant de mettre en évidence la mobilité et la dégradation du mannitol. Après 24h d'incubation, l'apparition d'une coloration jaune correspond au mannitol positif. Les bactéries mobiles se disperseront à partir de la piqûre d'ensemencement créant un trouble dans le milieu tandis que celles qui sont immobiles poussent uniquement le long de la strie d'ensemencement.

- **Test catalase :** La catalase est une enzyme qui est produite en abondance par les bactéries à métabolisme respiratoire qui peuvent détruire les peroxydes. Cette technique consiste à déposer une goutte d'eau oxygénée à 10 volumes sur une culture bactérienne jeune de 24 h. La présence d'une catalase (catalase positive) se traduit par l'émission de bulles gazeuses juste après contact selon la formule.



- **L'hydrolyse de la gélatine :** Les tubes contenant le milieu gélatine (Gardan et Luisetti, 1981) (**Annexe7**) ont étéensemencés avec la crème bactériennes, de 24 heures, par une piqure au centre du culot. Après 2 à 3 jour d'incubation à  $25^\circ\text{C} \pm 2$ , nous déposons les tubes, 10 minutes à  $6^\circ\text{C}$  pour favoriser la prise de gel, en comparaison avec des tubes témoin nonensemencé avec les bactérie. Si le milieu de culture est liquide, la bactérie hydrolyse la gélatine donc elle synthétise la gélatinasse.
- **L'urée indole :** Ce test permet de la mise en évidence des enzymes: l'uréase qui hydrolyse l'urée en  $\text{CO}_2$  et  $\text{NH}_3$  et le tryptophane désaminase (TDA) qui transforme le tryptophane en acide indole pyruvique par désamination. Il consiste à ensemencer les bactéries CH et S20, âgée de 24 heures dans des tubes contenant le milieu urée indole et incubé pendant 24h à  $28 \pm 2^\circ\text{C}$ . Les bactéries uréase (+) se traduit par l'apparition d'une couleur rouge violacé et la formation d'un anneau rouge qui signifie la dégradation de l'indole par la bactérie donc indole(+). Pour la TDA, l'apparition d'un précipité signifie que c'est TDA(+).
- **L'ADH (Arginine dihydrolase) :** La mise en évidence de cette enzyme est importante pour la caractérisation des bactéries, son rôle est de libérer l'ammoniac à partir de l'arginine. Le milieu ADH (Contient un indicateur de pH, le pourpre de bromocrésol) estensemencé avec les cultures bactériennes CH et S20, âgée de 24 heures, ensuite incubée à  $30^\circ\text{C}$  pendant 7 jours. Après incubation, si la couleur du milieu vire au jaune puis vers le violet ceci indique la présence de l'enzyme et la dégradation de l'arginine. Si le milieu reste jaune, la bactérie est ADH négatif.

- **Utilisation de l'ion citrique :** Le milieu utilisé est le milieu citrate de Simmons (**Annexe 6**) où le citrate est l'unique source de carbone. L'utilisation de ce substrat, pour la plupart des bactéries pouvant le cataboliser, est une utilisation aérobie, et se traduira par une alcalinisation du milieu. L'ensemencement des souches est effectué sur la pente du milieu de culture. Après 7 jours d'incubation à  $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}$ , l'utilisation des citrates est marquée par le virage de la couleur du milieu vers le bleu ce qui signifie citrate perméase positif.
  
- **Étude des dérivés de l'acide pyruvique :** Le milieu Clark et Lubs (Marchal et bourdon, 1982) (**Annexe 8**) est ensemencé avec les cultures bactériennes CH et S20, âgée de 24 heures, ensuite incubée à  $25^{\circ}\text{C}$  pendant 24 heures. Ce milieu permet de mettre en évidence deux voies de dégradation :
  - ✓ **Réaction Rouge de méthyle (RM) :** Au milieu de culture ensemencé et incubé, sont ajoutés 2 à 3 gouttes du réactif rouge de méthyle (RM). Si le milieu devient rose la réaction RM est positive (RM+).
  - ✓ **Réaction Voges Proskauer (VP) :** Pour la recherche de l'acétoïne, on ajoute au milieu ensemencé et incubé 0,5 ml de la solution VPI (naphtol) et 0,5 ml de la solution VPII (4N). Si une coloration rouge violacée apparaît en surface, la bactérie a transformé l'acide pyruvique en acétoïne, la réaction VP est positive (VP+).
  
- **Utilisation des glucides :** Le milieu utilisé est le triple sugariron (TSI) (Garden et Luisetti., 1981) (**Annexe 9**). Ce milieu permet de voir si la bactérie est capable de dégrader les trois sucres (Lactose, saccharose et glucose) et également il nous permet de mettre en évidence la réduction des sulfates ferreux en hydrogène de sulfure ( $\text{H}_2\text{S}$ ). L'ensemencement des souches bactériennes, âgées de 24 h, est effectué en stries sur la pente et en piqure centrale. La lecture des résultats se fait après 24 h d'incubation à  $28^{\circ}\text{C} \pm 2$ . Si le milieu au niveau de la pente est jaune donc il y a utilisation du lactose et saccharose, par contre si le milieu vire vers le jaune au niveau du culot, il y a utilisation du glucose. Le noircissement du milieu indique la production de sulfures d'hydrogènes ( $\text{H}_2\text{S}$ ) par sulfate réductase.

- **Test oxydase :** Le test oxydase est à la base de l'identification des bactéries Gram négatives. Il permet de mettre en évidence une enzyme, la phénylène diamine oxydase. Selon la technique de Kovacs (1956), il est réalisé en déposant un disque pré-imprégné par le réactif N diméthylparaphénylène diamine, sur une colonie bactérienne âgée de 24 heures. La lecture des résultats se fait immédiatement, une réaction positive se traduit par l'apparition d'une couleur violette au bout de 10 secondes.
  
- **Tolérance au sel :** La détermination de la résistance des isolats bactériens à la salinité a été effectuée par l'ensemencement en strie des souches âgées de 24 heures, sur milieu de culture de Chapman (**Annexe 2**). La lecture des résultats portant sur la présence ou l'absence de la croissance bactérienne est réalisée après incubation de 24 à 72 heures à une température de  $25^{\circ}\text{C}\pm 2$ .

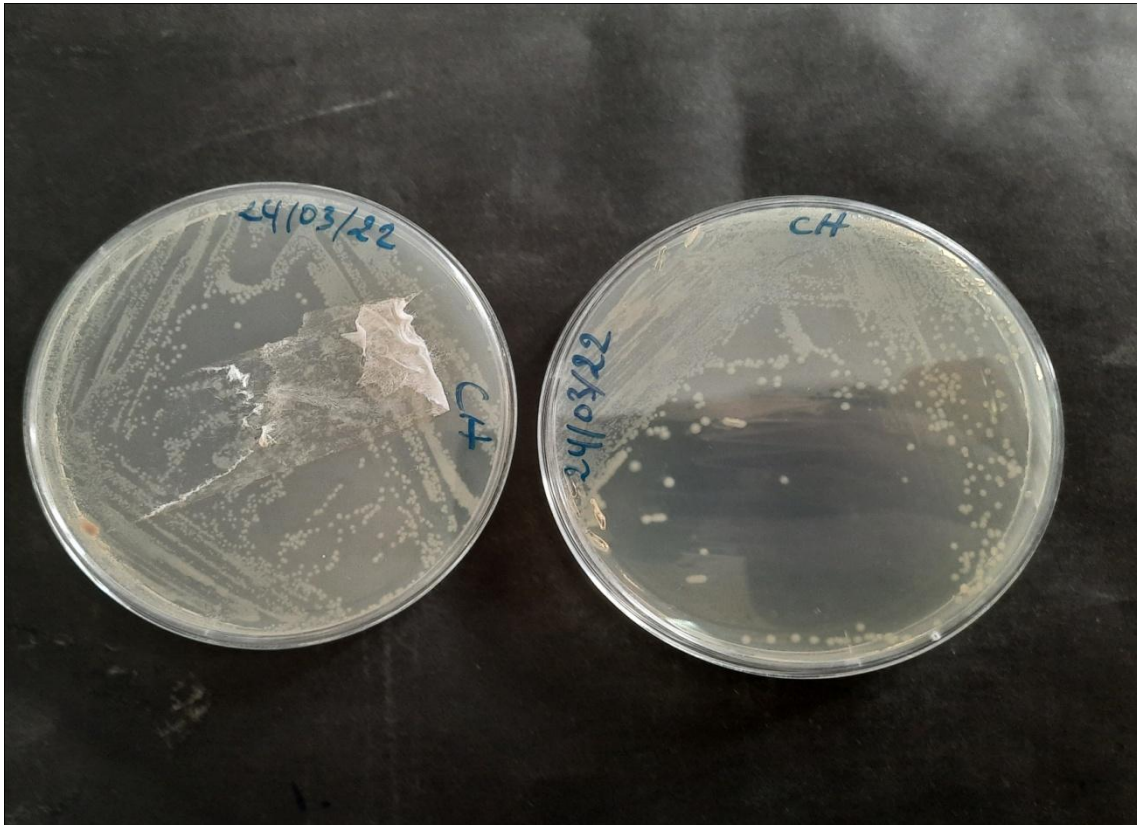
A decorative border resembling a scroll, with rounded corners and a slight shadow effect, framing the text.

**Partie III :**  
**Résultats et discussion**

## 1. Caractérisation des souches bactériennes.

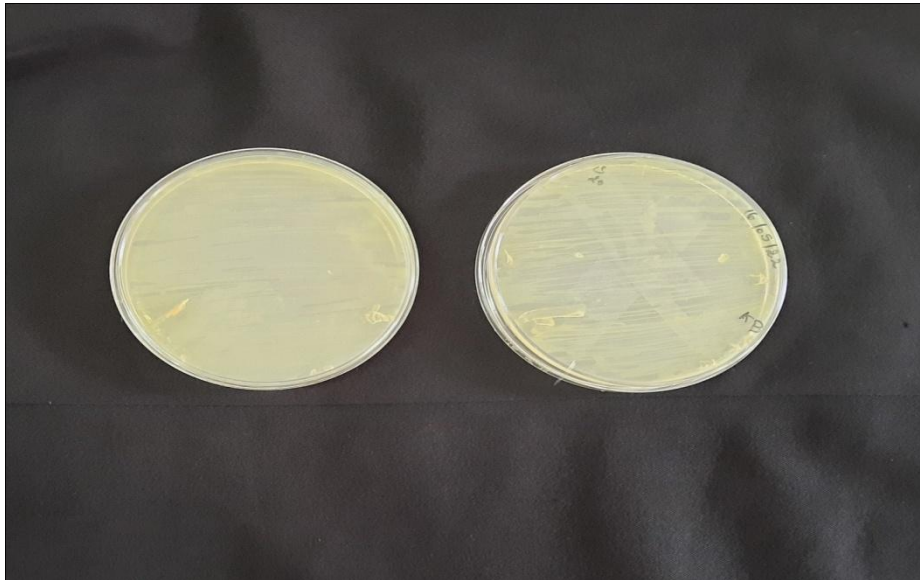
### 1.1. Caractères macroscopiques et microscopiques.

Après l'ensemencement des souches *Pseudomonas* spp Fluorescens sur milieu gélosé King B et l'incubation à  $28^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}$  pendant 24 heures, nous avons constaté que les colonies des deux souches bactériennes, CH et S20, présentent un aspect lisse de couleur beige clair et de forme régulière, le diamètre des colonies varie de 2 à 4 mm (**Fig. 11**).



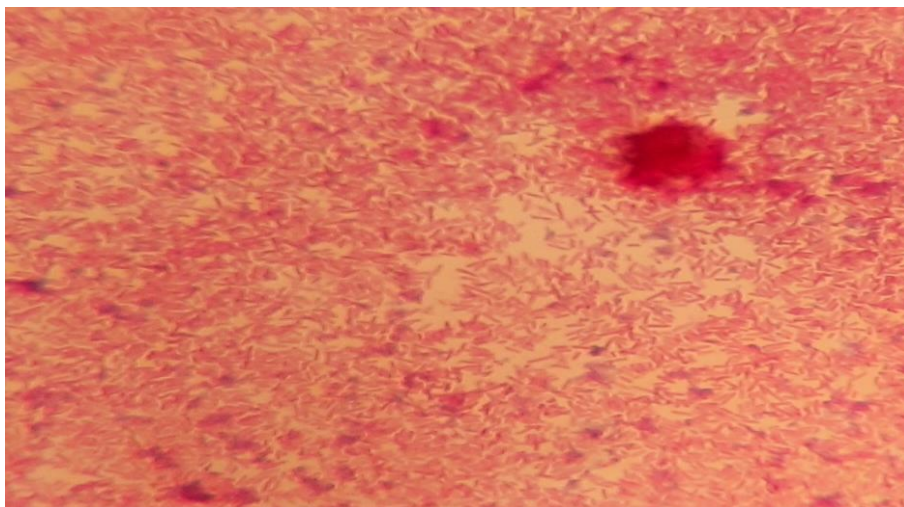
**Figure 11** : Colonies des souches CH et S20 (Originel, 2022).

Les deux souches bactériennes produisent un pigment fluorescent de couleur jaune-vert sur le milieu King B. Cette pigmentation traduisant une production des sidérophores, visible à l'œil nu sous lumière naturelle. L'intensité de cette pigmentation est variable selon la souche bactérienne étudiée (**Fig. 12**).



**Figure 12:** Production de pigment fluorescents par les souches S20 et CH. (Originel, 2022).

L'observation microscopique a été réalisée après la coloration de Gram. A l'issue de cette coloration, on a distingué que les deux souches bactériennes CH et S20, observées sous microscope optique au grossissement ( $10\times 100$ ), sont de forme de bacilles droits isolés ou groupés, de couleur rose. Elles sont dites Gram- (Gram négative) (**Fig.13**). Grâce à la technique KOH (3%), nous avons confirmé le résultat de la coloration de Gram et cela par la formation d'un filament visqueux au contact de la crème bactérienne avec la solution KOH (3%) ce qui indique que les isolats bactériens sont Gram négatif.



**Figure 13 :** Observation de la souche S20 sous microscope optique au G :  $10\times 100$  (Originel, 2022).

## 1.2. Caractères biochimiques.

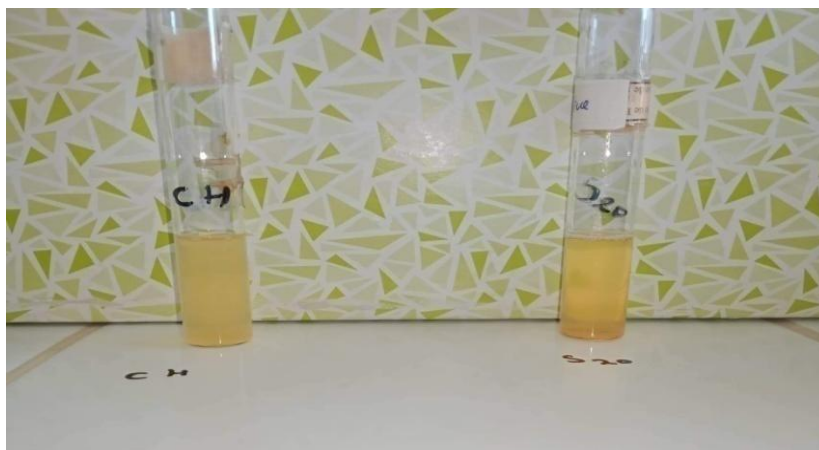
Suite aux différents tests biochimiques que nous avons réalisés pour les deux souches bactériennes CH et S20, nous avons obtenues les résultats suivants (**Tableau 3**) :

- **Test de mobilité :** L'apparition du trouble dans le milieu Mannitol-mobilité indique que les deux souches bactériennes testées sont mobiles mais elles n'ont pas la capacité d'utiliser et de dégrader le mannitol (**Fig. 14**).



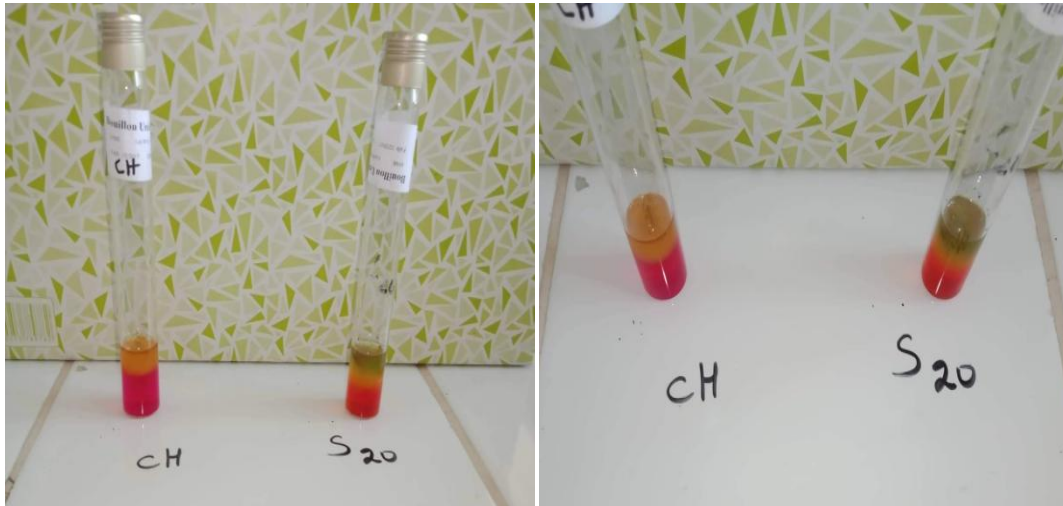
**Figure 14:** Test Mannitol-mobilité (Originel, 2022).

- **Test catalase :** Les deux souches sont catalase positive car, au contact des souches bactériennes avec de l'eau oxygénée, des bulles gazeuses sont observées.
- **L'hydrolyse de la gélatine:** Les deux souches bactériennes peuvent hydrolyser la gélatine donc elles synthétisent de la gélatinase (**Fig.15**).



**Figure 15 :** Test de la gélatine (Originel, 2022).

- **L'urée indole** : La formation d'un anneau rouge, d'un précipité brun ainsi que l'apparition de couleur violacée sur le milieu urée tryptophane suite à l'ensemencement de la suspension des souches CH et S20, démontre que ces bactéries sont indoles (+), TDA(+) et uréase (+) (**Fig.16**).



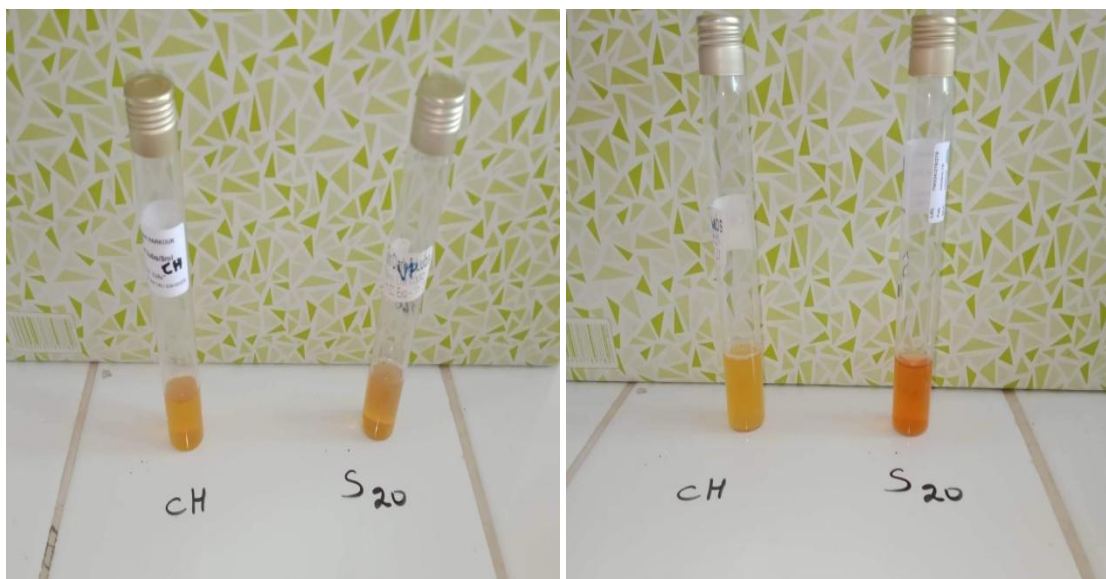
**Figure 16** : Test uréase, TDA et indole (Originel, 2022).

- **L'ADH (Arginine dihydrolase)** : Les deux souches bactériennes dégradent et utilisent l'arginine car la couleur du milieu vire vers le violet (**Fig. 17**).



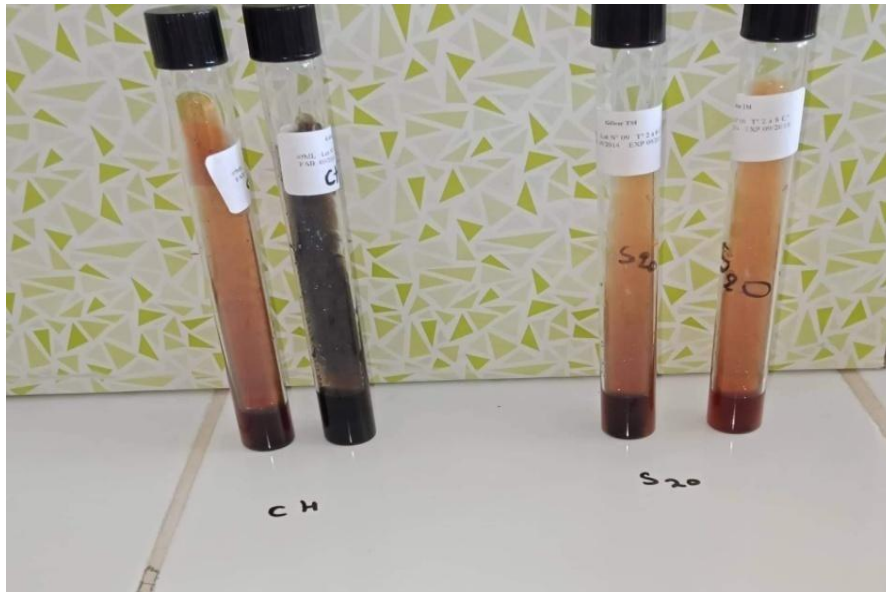
**Figure 17**: Test ADH (Originel, 2022).

- **Utilisation de l'ion citrique :** Les deux souches CH et S20 possèdent les citrates-perméases, indiquée par le virage du milieu citrate de Simmons vers le bleu. Ceci explique la capacité des bactéries à se développer en utilisant le citrate de sodium comme seule source de carbone et cela signifie que les bactéries sont des citrates (+).
- **Étude des dérivés de l'acide pyruvique :** La souche CH présente une réaction négative pour le rouge de méthyle (RM) et une réaction positive pour le Voges Proskauer (VP), ce qui signifie qu'elle dégrade l'acide pyruvique en acétoines mais elle ne le dégrade pas en acide formique et acétique. La bactérie S20 présente une réaction positive pour le rouge de méthyle (RM) et une réaction négative pour le Voges Proskauer (VP), ce qui signifie qu'elle dégrade l'acide pyruvique en acide formique et acétique mais non pas en acétoines (**Fig.18**).



**Figure 18 :** Réaction VP et RM (Originel, 2022).

- **Utilisation des glucides :** Les deux souches bactériennes sont incapables d'utiliser le lactose et le saccharose. Le glucose est utilisé uniquement par la souche CH. Egalement, cette dernière produit du sulfure d'hydrogène indiqué par le noircissement du milieu TSI, ce qui signifie que la souche CH possède les sulfate réductase (**Fig.19**).



**Figure 19 :** Test TSI des deux souches CH et S20 (Originel, 2022).

- **Test oxydase :** Les disques d'oxydases déposées sur les souches bactériennes CH et S20 prennent une teinte violette. Ce qui signifie que les deux souches sont oxydase positive.
- **Tolérance au sel :** Les deux souches bactériennes CH et S20 ont montré une inaptitude totale à croître et à se développer sur milieu Chapman, ce qui explique qu'elles sont incapables de tolérer le NaCL (**Fig. 20**).



**Figure 20 :** Test de tolérance au sel des deux souches CH et S20 (Originel, 2022).

**Tableau 3 :** Caractères physiologiques et biochimiques des deux souches bactériennes CH et S20.

Bactéries	CH	S20
Teste		
Mannitol-mobilité	Mannitol - Mobilité +	Mannitol - Mobilité +
Catalase	+	+
Gélatine	+	+
L'urée indole	+	+
ADH	+	+
L'ion citrique	+	+
Clark et Lubs	RM - VP +	RM + VP -
TSI	H <sub>2</sub> S + Lactose - Saccharoses - Glucose +	H <sub>2</sub> S - Lactoses - Saccharoses - Glucose -
Oxydase	+	+
CHAPMAN	+	+
KOH	+	+
Coloration de Gram	Gram -	Gram -
Pigment fluorescent	+	+

- (+) réaction négative.
- (-) réaction positive.

En se basant sur la caractérisation morphologique et biochimique de la souche CH et S20, nous avons remarqué que les souches bactériennes ont montré une certaine stabilité de leurs caractères ce qui confirme la pureté des deux souches et leurs appartenance au genre *Pseudomonas*.

D'après Bell-Perkins et Lynch, (2002), les *Pseudomonas* sont des bacilles à Gram négatif. Palleroni (2008) a décrit les bactéries du genre *Pseudomonas* comme étant des bactéries non sporulés, généralement mobile grâce à un ou flagelles polaire. L'hydrolyse de la gélatine est une priorité universelle de *Pseudomonas aeruginosa* et *Pseudomonas fluorescens* mais absente chez *Pseudomonas putida* (Bossis, 1995). On constate donc que nos souches bactériennes testées appartiennent à l'espèce *Pseudomonas fluorescens*.

### Discussion.

Le traitement des graines et des plants de la tomate et du haricot par les deux rhizobactéries S20 et CH de *Pseudomonas fluorescens* a révélé un effet de biostimulation très remarquable. Des résultats appréciables ont été obtenus en termes de développement et de la croissance végétale chez les plants bactérisés par rapport aux témoins non bactérisés. Ce constat est différentiel selon les stades phénologiques, le génotype végétal, la souche bactérienne et le paramètre analysé.

Les résultats obtenus dans notre essai de biostimulation *in-vitro* confirme que les souches bactériennes ont un effet significatif sur les paramètres de germination tels que le taux de germination et l'index vigor des graines de la tomate et du haricot et sur les paramètres de croissance des plants du haricot. Cet effet bénéfique a été très prononcé sur la biomasse des de la partie foliaire et racinaire du haricot.

L'effet de phytostimulation des souches CH et S20 testées affirme non seulement leur aptitude à promouvoir la croissance des plantes mais aussi leur aptitude de s'adapter à des environnements différents (espèce végétal). Cette phytostimulation peut être attribuée à des mécanismes exercés par les souches de *Pseudomonas spp fluorescents* tel que la production d'hormone de croissance, solubilisation du phosphore... etc.

Au cours de notre expérimentation, nous avons mis en évidence la production d'AIA par les souches bactériennes ainsi leur capacité à solubiliser le phosphore inorganique.

Les hormones végétales ou phytohormones telles que : les auxines, gibbérellines et cytokinines régissent la croissance des plantes par le contrôle spatial et temporel de la division, de la croissance et de la différenciation des cellules. Les phytohormones jouent

également un rôle essentiel dans les réponses aux stress biotiques et abiotiques (Peleg et Blumwald ; 2011).

La biostimulation induite par les PGPR est la conséquence de synthèse de métabolites secondaire analogues aux phytohormones. L'acide indole-3-acétique (AIA) fait partie du groupe des phytohormones, généralement considéré comme l'Auxine natif le plus important (Ashrafuzzaman et *al*, 2009).

L'acide indole acétique 'AIA' présente un intérêt potentiel pour l'amélioration des rendements agricoles par stimulation de la croissance de la plante par stimulation la germination des semences, augmentant le développement des racines et le contrôle des processus de croissance végétative (Loper et Schroth, 1986).

Il fonctionne comme une molécule signal importante dans la régulation du développement des plantes, y compris l'organogenèse, les réponses tropiques, les réponses cellulaires telles que l'expansion, la division et la différenciation cellulaires et la régulation des gènes. Les interactions entre les bactéries productrices d'AIA et les plantes conduisent à des résultats divers du côté des plantes, allant de la pathogenèse à la phytostimulation (Sivasakthi et al, 2014).

Dans notre expérimentation, on a remarqué que les bactéries ont un effet positif sur la longueur racinaire ce qui peut être lié à la capacité des souches bactériens à solubilisé le phosphore. Selon Sundara et *al*. (2002) la dissolution des phosphates et synthèse de l'acide phosphorique est un facteur de précocité et favorise le développement racinaire.

Gamalero et *al*. (2004) ont confirmé que l'inoculation des plants de tomate par des souches de *Pseudomonas fluorescens* a conduit à la stimulation de leur croissance et à la modification de leur architecture racinaire, accompagnée de l'amélioration de l'acquisition du phosphore au niveau des feuilles.

Un bon développement racinaire conduit lui-même à une augmentation de la matière fraîche aérienne totale. Felici et *al*., (2008) ont mis en évidence l'efficacité de la souche *B. subtilis* dans la phytostimulation de la tomate après 45 jours de plantation en conditions contrôlées où des gains notables sont enregistrés en biomasse sèche des tiges et des racines.

D'après Lemanceau, (1992), les effets bénéfiques de l'inoculation bactérienne ne se manifestent que si certaines conditions sont réunies. En premier lieu, il est nécessaire de sélectionner des souches efficaces. Cette efficacité repose sur la synthèse de métabolites particuliers (sidérophores, antibiotiques, substances de croissance, lipopolysaccharides, etc), qui est influencée par le métabolisme primaire. La bonne colonisation racinaire des *Pseudomonas* spp est influencée par différents facteurs environnementaux comme la température, le pH et l'humidité qui affectent la production des substances anti microbiennes et aussi la production des sidérophores.



# **Conclusion**

## Conclusion

---

Les résultats de notre expérimentation nous a permis de confirmer les caractéristiques décrites dans la bibliographie sur les *Pseudomonas* spp. Fluorescent, car les deux souches étudiées CH et S20 ont montré une stabilité dans les caractéristiques culturales et biochimiques.

Au cours de notre expérimentation les deux souches bactériennes CH et S20 ont montré une même capacité à produire de l'acide indole acétique (AIA) qui est considérée comme une hormone de croissance sur le milieu MS. Nous avons également mis en évidence la solubilisation de phosphore inorganique par la souche bactérienne S20 par le développement des zones de clarification assez importantes.

L'application des souches rhizobactériennes CH et S20 de *Pseudomonas fluorescens* sur les deux espèces végétale le haricot (var. Djadida) et la tomate (var. Marmande), nous a permis d'évaluer les activités phytostimulatrices par la mise en évidence leurs effets bénéfiques sur la germination et la croissance de la tomate et du haricot.

Les effets de la phytostimulation ont été évalués par comparaison de la germination et de la croissance des plantes bactérisées par rapport aux témoins non bactérisées. Globalement sur ces deux cultures, des effets bénéfiques notables ont été enregistrés car la bactérisation des graines a provoqué d'une manière générale une augmentation significative des paramètres morphologiques, la vigueur aussi du taux et de la vitesse de germination par rapport au témoin non bactérisée.

D'après notre étude, l'interaction plante-bactérie est très bénéfique pour la germination mais elle semble avoir aussi un effet très favorable sur les paramètres de croissance végétale. Des augmentations appréciables sont obtenues en biomasses fraîches et sèches chez les parties aériennes et racinaires des plants. Les bactéries testées ont un effet très favorable sur la longueur racinaire permettant ainsi une plus grande exploitation du sol.

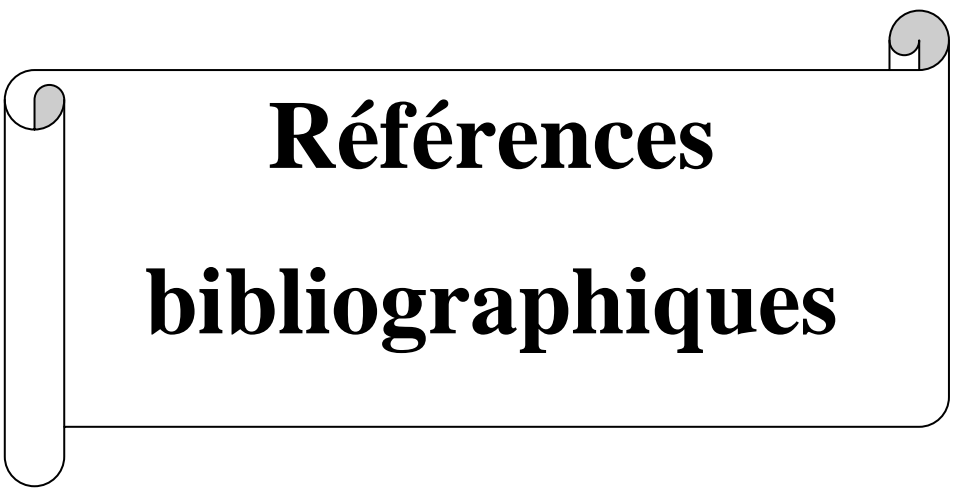
Les effets bénéfiques engendrés par les souches de *Pseudomonas* spp. Fluorescents sur la stimulation de la germination et la croissance végétale sont tributaires des conditions expérimentales. Globalement, il en ressort des effets plus quantifiables en conditions contrôlées, car malgré les conditions de notre expérimentation les deux souches on put exprimer une augmentation significative du taux de germination.

## Conclusion

---

Néanmoins, les niveaux de phytostimulation restent appréciables et annonciateurs d'une possible exploitation de ces effets microbiens positifs dans la conduite des cultures. Ceci permettra d'envisager d'éventuelles applications tout en essayant d'améliorer notre compréhension des mécanismes et des facteurs garantissant l'expression des effets bénéfiques dans des conditions pratiques.

Notre étude a permis de contribuer dans la valorisation de l'effet très favorable des microorganismes rhizosphériques et le rôle des *Pseudomonas* spp Fluorescents dans la biostimulation de la croissance végétale.



**Références  
bibliographiques**

## Références bibliographiques

---

1. **Abderrezak, L. 2001.** Evaluation de la perte de vigueur de descendances F2 issues par autofécondation de variétés hybrides de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Mémoire de Magister. Université d'Oran, 126p.
2. **Adam A. 2008.** Elicitations de la croissance Systémique induite chez la Tomate et le concombre et l'activation de la voie de la lipoxygénase par des rhizobactéries non-pathogènes. Thèse de doctorat Sciences. Université de Liège. Belgique.
3. **Ahmad, M. & Kibret, M. 2013.** Mechanisms and applications of Plant Growth Promoting Rhizobacteria : Current perspective. *Journal of King Saud University-Science* 26(01) :1-20.
4. **Allaire, M. (2005).** Diversité fonctionnelle des *Pseudomonas* producteurs d'antibiotiques dans les rhizosphères de conifères en pépinières et en milieu naturel. Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation. Maîtrise en microbiologie agricole, Université Laval, 80p.
5. **Almeida, P., de Boer, G., and de Boer, A. H. 2014.** Differences in shoot Na<sup>+</sup> accumulation between two tomato species are due to differences in ion affinity of HKT1;2. *J. Plant Physiol.* 171, 438–447.
6. **Alström, S. 1991.** Induction of disease resistance in common bean susceptible to halo blight bacterial pathogen after seed bacterization with rhizosphere *Pseudomonads*. *The Journal of General and Applied Microbiology*, 37(6), 495-501.
7. **Amanuel G.S., Kihne R.F., Tanner D.G., Vlek P.L.G. (2000).** Biological nitrogen fixation in faba bean (*Vicia faba* L.) in the Ethiopian highlands as affected by P fertilization and inoculation. *Biol. Fertil. Soils.* 32, 353-359.
8. **Amanullah JI, Hayat TF, Khan AI, Khan N (2002).** Effect of sowing dates on yield and yield components of mash bean varieties. *As. J. Plant Sci.* 1: 622-624.
9. **Arkhipova T.N., Prinsen E., Veselov S.U., Martinenko E.V., Melentiev A.I. et Kwdoyarova G.R., 2007.** Cytokinin producing bacteria enhance Plant Growth in drying soil. *Plant Soil.* Vol.292.p.p. :305-315.
10. **Ashrafuzzaman, M., Hossen, F. A., Ismail, M. R., Hoque, A., Islam, M. Z., Shahidullah, S. M., & Meon, S. (2009).** Efficiency of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) for the enhancement of rice growth. *African Journal of Biotechnology*, 8(7).

## Références bibliographiques

---

11. Babu, M.A., Singh, D. and Gothandam, K.M. 2012. The effect of salinity on growth, hormone and mineral elements in leaf and fruit of tomato cultivar PKM1. *J Anim Plant Sci* 22:159–164.
12. Banerjee, M. R., Yesmin, L., et Vessey, J. K. (2006). Plant-growth-promoting Plant-growth-promoting rhizobacteria as biofertilizers and biopesticides. *Handbook of microbial biofertilizers*. Food Products Press, Ney York, 137-181.
13. Bashan Y., De-Bashan L.E., 2005. Fresh-weight measurements of roots provide inaccurate estimates of the effects of plant growth-promoting bacteria on root growth: a critical examination. *Soil Biology & Biochemistry*, 37, pp 1795-1804
14. Baskaran, R., Usha Devi, A., Nayak, C. A., Kudachikar, V. B., Keshava Prakash, M. N., Prakash, M., Ramana, K. V. R., & Rastogi, N. K. (2007). Effect of low-dose  $\gamma$  -irradiation on the shelf life and quality characteristics of minimally processed potato cubes under modified atmosphere packaging. *Radiation Physics and Chemistry*, 76 (6), 1042-1049. <http://dx.doi.org/10.1016/j.radphyschem.2006.10.004>.
15. Belaadi. M, (2014). Etude de l'effet de la salinité sur la germination et la croissance de quelques variétés d'Haricot (*Phaseolus vulgaris* L.), 40, pp 10-12.
16. Bell –Perkins, L. J and Lynch J. M. 2002. Rhizosphere microbiology, P.2713-2728. ING.Bitton (ed), *Encyclopedia of environmental microbiology*, Awiley-Interscience Publicatio, Canada.
17. Benchabane, M., Boutckrabt, A., Toua, D., 2008. Le chancre bactérien de la tomate en Algérie. *Bulletin OEPP/ EPPO Bulletin*.30(2) :337-339.
18. Bossis.G., 1995. Les Pseudomonas Fluorescent de la rhizosphère : étude taxonomique et effets sur la croissance de la Tomate et du Maïs, de la germination à la levée, Thèse de doctorat, Université de Nantes, France, 143p.
19. Brigide, P., Canniatt-Brazaca, S. G., & Silva, O. (2014). Nutritional characteristics of biofortified common beans. *Food Science and Technology (Campinas.)* , 34 (3), 493-500. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-457x.6245>.
20. Brosteim J.I. 2004. Game structures in mutualisms : What can the evidence tell us about the kinds of models we need ?. *Advances in the study of behavior*.34 : 59-104.
21. Chaou, L., (2017). Contribution à l'étude de l'effet du stress salin sur la germination des graines de deux légumineuses forestières *Acacia Raddiana* et *A Miloticia* bactéries par deux souches de *Pseudomonas* spp. Flurescents Mémoir master UMMTO 56 P.
22. Chaux, C.L., Et Foury, C. L., 1994. Cultures légumières et maraîchères. Tome III. légumineuses potagères, légumes fruit. Tec et Doclavoisier, Paris.563P.

## Références bibliographiques

---

23. **Chen YP, Rekha PD, Arun AB, Shen FT, Lai WA, Young CC. 2006.** Phosphate solubilizing bacteria from subtropical soil and their tricalcium phosphate solubilizing abilities. *Appl Soil Ecol*.P ; 34:33–41.
24. **Choudhary D.K.et Johri B.N., 2009.** Interactions of *Bacillus* spp. And Plants-with special reference to induced systemic resistance (ISR).*Microbiological Research*, 164,5 :493-513.
25. **Compant S, Brion Duffy, Jerzy Nowak, Christophe Clément, and Essaïd Ait Barka ( 2005 )** Use of Plant Growth-Promoting Bacteria for Biocontrol of Plant Diseases: Principles, Mechanisms of Action, and Future Prospects, vol. 71 no. 94951-4959.
26. **Couillerot, O., Prigent-Combaret, C., Caballero-Mellado J. Moënne-Loccoz, Y., 2009.** *Pseudomonas Fluorescens* and Closely- related Fluorescent *Pseudomonads* as biocontrol agents of soil-borne phytopathogens *Letters in Applied Microbiology*, 48,(15),pp505-512.
27. **Cramer, G. R., Van Sluyter, S. C., Hopper, D. W., Pascovici, D., Keighley, T., and Haynes, P. A. 2013.** Proteomic analysis indicates massive changes in metabolism prior to the inhibition of growth and photosynthesis of grapevine (*Vitis vinifera* L.) in response to water deficit. *BMC plant biology*, 13(1), 49.
28. **Crowley E, Reid CPP, Szaniszlo PJ (1987).** Microbial siderophores as iron sources for plants. In: *Iron transport in microbes plants and animals* (G Winkelmann, D Van der Helm, JB Neilands, eds) VCH, Weinheim, 375-385
29. **Curl EA.1982.** The rhizosphere : relation to pathogen behaviour and root disease.*Plant Dis* 66,624-630.
30. **De ley J., and De vos P., 1984.** Biological and clinical : The genus *Pseudomonas*. *Antonie van Leeuwenhoek*,50, pp 281-303.
31. **Défago G., 1993.** 2,4- Diacetyl phloroglucinol, a promoting compound in biocontrol. *Plant Pathol.*42 :311-312.
32. **Delvasto, P, Valvende A, Ballester A, Igual JM, Munôz JA, González F, Blazquez ML, Garcia C, 2006.**Caractérisation de brushite comme une recristallisation sur procanal formé durant bactérien solubiliserilisation de hydroxyapatite dans grouper cultures.*Sol Bid.Biochimie*, 38 :2645-2654.
33. **Dieter Haas et Geneviève Défago, 2005.** Biological control of soil- borne pathogens by Fluorescent *Pseudomonads* *Nature Reviews Microbiology* 3, 307-319(April 2005).

## Références bibliographiques

---

34. **Digat, B.1994.**Les bactéries stimulatrices de la croissance des plantes : le cas des *Pseudomonas* .The plant growth promoting rhizobacteria.An exemple with *Pseudomonas* .C.R.Acad.Fr.86(2) ; 125-140.
35. **Digat,B ,Gandillat,M,Labadie,J.M.1990.** Susceptibility of various tomato and lettuce genotypes to Plant Growth Promoting *Pseudomonas* Symbiosis 9,295-303.
36. **Dileep Kumar B.S., Berggren I et Maartensson A.M., 2001.** Potential for improving pea production by coinoculation with fluorescent *Pseudomonas* and *Rhizobium*. Plant Soil, vol. 229, p.p. : 25–34.
37. **Djerroudi, O., Bissati, S., Belkhodja, M. 2011.** Biochemical response of two *Atriplex* species (*Atriplex halimus* L. and *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt) under salt stress conditions. IJPPB, 3: 163-168.
38. **Djeugap, F.J., Mefire, M.h., Nguetack, J. N., Gueguim, M.et Fontem, D.A.(2014).** Effet variétal et du traitement fongicide sur la sévérité de la maladie des taches angulaires et le rendement du haricot commun ( *Phaseolus vulgaris* L.) à l’Ouest-Cameroun. *International Journal of Biological and chimical sciencse.* 8(3): 1221-1233.
39. **Dwivedi, D. and Johri, B.N., 2003.** Antifungals from Fluorescent *Pseudomonads* biosynthesis and regulation.Cun.Sci 85(12) :1693-1673.
40. **Elad, Y., Baker, R.1985.** The role of competition for iron and carbon in suppression of chelamydospores germination of *Fusarium* spp.by *Pseudomonas* spp. *Phytopathology*, 75, pp.1053-1059.
41. **Ellis R.J., Timms- wilson,T.M , Bailey M.J.2000.** Identification of conserved traits in fluorescent *Pseudomonads* with antifungal activity.Enveronemental microbiology.volume2, Issue 3.pp.247-284.
42. **Escalante JA, Miranda S, Kohashi SJ (1989).** Manual removal of reproductive organs: Their effect on flowering duration and age at physiological maturity in *Phaseohs vulgaris* L; 39(1):40.
43. **Ezawa.T., Smith, S.E& Smith, F.A.2002.** Metabolism and transport in Am-fungi, *Plant and Soil* 244, 221-230.
44. **Fallik, E., S. Sarig et Y. Okon (1994).** Morphology and physiology of plant roots associated with *Azospirillum*. pp: 77–85. In: *Azospirillum–Plant Associations*. Okon Y. (ed.). CRC Press, Boca Raton.
45. **Farzana Y., Saad R.O.S. et Kamaruzaman S., 2009.** Growth and storage root development of Sweet potato inoculated with rhizobacteria under glasshouse

## Références bibliographiques

---

- conditions. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, vol. 3, suppl. 2, p.p. : 1461-1466.
- 46. Fédération Nationale des Agriculteurs Multiplicateurs de Semences.2021.** Le haricot porte –graine. FNAMS. Semences potagères, consulté le 02 octobre 2022.
- 47. Felici C., Vettori L., Giraldi E., Costantina Forino L.M., Toffanin A., Tagliasacchi A.M. et Nuti M., 2008.** Single and co-inoculation of *Bacillus subtilis* and *Azospirillum brasilense* on *Lycopersicon esculentum*: Effects on plant growth and rhizosphere microbial community. Applied Soil Ecology, vol. 40, p.p. : 260 – 270.
- 48. Food and Agriculture Organization of the United Nations.1987.** Cultures maraichères: la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.).In : *Cultures Protégées en Climat Méditerranéen*. Ed. FAO. United Nations, 18 p.
- 49. Fortin, J. (1996).** Le guide des aliments. (Eds.), Québec Amérique Inc, canada.137-139. Gallas A. Et Bennfort H., 1992. Amélioration des espèces végétales cultivées, objectifs et critères de la sélection- Paris. Ed : INRA. PP75-142.
- 50. Gamalero E., Trotta A., Massa N., Copetta A., Martinotti M. G. et Berta G., 2004.** Impact of two fluorescent *Pseudomonads* and an arbuscular mycorrhizal fungus on tomato plant growth, root architecture and P acquisition. Mycorrhiza, vol. 14, p.p. : 185–192.
- 51. Gardan N, Luisetti G ; 1981.** Méthode d'isolement et identification des bactéries phytopathogènes. Station de pathologie INRA.Angers ,32.
- 52. Gardome., L. Bollet., C, Abu Ghorrah, M, Grimont, P., P.A.D. 1992.** D.N.A. relatedness among the pathovar. Strains of *Pseudomonas Syringae* subsp, *Sovastamoi jamse* 1982. And proposal of *Pseudomonas sovastamoi*.sp.nov.International Journal of systematic Bacteriology 42 : 12-606.
- 53. Gazou S., 2016.** Les effets bénéfiques de *pseudomonas* spp. Fluorescents dans la biostimulation et Biocontrôle des végétaux P 76.
- 54. Gerretsen FC (1948).**The influence of microorganisms on the phosphate intake by the plant. Plant Soil 1, 51-81.
- 55. Glick B.R., Todorovic B., Czarny J., Cheng Z., Duan J. et McConkey B., 2007.** Promotion of plant growth by bacterial ACC deaminase. Crit. Rev. Plant Sci., vol. 26, p.p. : 227–242.
- 56. Goldstein, A.H., 1986.** Bacterial.Solubilization of mineral phosphates : Historical Perspectives and future prospects.Am.J. Alternate Agric. I : 51-57.

## Références bibliographiques

---

- 57. Gupta, B., and Huang, B. 2014.** Mechanism of salinity tolerance in plants: physiological, biochemical, and molecular characterization. *International journal of genomics*.
- 58. Gupta, G., Parihar, S., (2015).** "Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR): current and future prospects for development of sustainable agriculture." *J Microb Biochem Technol* N° 7(2) P 096-102.
- 59. Gutierrez- Manero, F., Ramos, B., Probanza, A., Mehouchi, J., et Talon, M., 2001.** The Plant Growth Promoting Rhizobacteria *Bacillus Pumilus* and *Bacillus Licheniformis* produce high amounts of physiologically active gibberellins. *Physiol. Plant* N° 111 P. 206-211.
- 60. Haas, D. and Défago, G. 2005.** Biological control of soil-borne pathogens by fluorescent pseudomonads. *Nat. Rev. Microbiol.* 3: 307–319.
- 61. Haas, D. et Défago, G. 2005.** Biological control of soil-borne pathogens by Fluorescent Pseudomonads. *Nature Rev. Microbiol.* 3(4) : 307-319.
- 62. Haas, D. and Keel, C., 2003.** Regulation of antibiotic production in root colonizing *Pseudomonas* spp. And relevance for biological control of plant disease. *Annu. Rev. Phytopathol.* 41 : 117-153.
- 63. Haas, D. & Défago, G. 2005.** Biological control of soil-borne pathogens by fluorescent Pseudomonads. *Nature Reviews Microbiology*, 3(4), 307-319.
- 64. Haas, D. & Défago, G. 2005.** Biological control of soil-borne pathogens by fluorescent Pseudomonads. *Nature Reviews Microbiology*, 3, pp 307-319.
- 65. Hall J.A., Pierson D., Ghosh S. et Glick B.R., 1996.** Root elongation in various agronomic crops by the plant growth promoting rhizobacterium *Pseudomonas putida* GR12-2. *Isr. J. Plant. Sci.*, vol. 44, p.p. : 37–42.
- 66. Harish S., Kavino M., Kumar N., Saravanakumar D., Soorianathasundaram K. et Samiyappan R., 2008.** Biohardening with plant growth promoting rhizosphere and endophytic bacteria induces systemic resistance against Banana bunchy top virus. *Appl. Soil Ecol.*, vol. 39, p.p. : 187–200.
- 67. Hartmann A., Schmid M, Van Tuinen D, et Berg G, 2009.** Plant Driven selection of microbes. *Plant Soil*, Vol. 321, p.p : 235-257.
- 68. Hildobrand D, C., Schroth M.N et Sand D.C., 1988.** *Pseudomonas* spp 60-77 : In Shaad, N.W.E. *D Laboratory guide for identification of Plant pathogen bacteria*. 2<sup>nd</sup>.

## Références bibliographiques

---

69. **Hol, W., Gera, Martijin T. Bezemer and Biere A., 2013.** Getting the ecology into interactions between plants and The Plant Growth Promoting bacterium *Pseudomonas Fluorescens.*, *Frontiers in Plant Science*.
70. **Hubert., 1978** Recueil de fiches techniques d'agriculture spéciale à l'usage des lycées agricoles à Madagascar Antananarivo, BDPA.
71. **Jacques P., Delfosse P., Ongena M., Lepoivre P., Cornélis P., Koedam N., Neirinckx I., Thonart P., 1993.** Les mécanismes biochimiques développés par les *Pseudomonas Fluorescens* dans la lutte biologique contre les maladies des plantes transmises par le sol. *Cahier Agriculture*, 2, pp301-307.
72. **Johnson, J. L. et N.J. Palleroni. 1989.** Deoxyribonucleic acid similarities among *Pseudomonas* Species. *International Journal of Systematic Bacteriology* 39 : 230-235.
73. **Johnson, J.L. and Palleroni, N., 1989.** Deoxyribonucleic acid similarities among *Pseudomonas* Species. *Int. J. Syst. Bacteriol.* 39 :230-235.
74. **Jourdan E., Ongena M., Thonart P., 2008.** Caractéristiques moléculaires de l'immunité des plantes induite par les rhizobactéries non pathogènes. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, vol. 12, n. 4, p.p. : 437-449.
75. **Karabaghli, C., Sotta, B. et Gay G. 1997.** Hormones fongiques, ectomycorhizes et rhizogénèse. *Rev. For. Fr.* XLIX -n° sp.
76. **Karnwal A., (2009).** Production of indole acetic acid by fluorescent *Pseudomonas* in the presence of L-tryptophan and rice root exudates. *J Plant Pathol*, 91, 1, 61-63.
77. **Kavino M., Harishb S., Kumara N., Saravanakumarb D. et Samiyappanb R., 2010.** Effect of chitinolytic PGPR on growth, yield and physiological attributes of banana (*Musa* spp.) under field conditions. *Applied Soil Ecology*, vol. 45, p.p. : 71-77.
78. **Khakipour N., Khavazi K., Mojallali H., Pazira and E., Asadirahmani H., (2008).** Production of auxin hormone by fluorescent pseudomonads. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*, 4, (6), pp 687-692.
79. **Khan, M. Zaidi, S., et Javed, M., 2009.** Microbiol strategies for crop improvement. P1-371.
80. **Khan, M.S., Zaidi, A., Wani, P.A., & Oves, M. 2009.** Role of plant growth promoting rhizobacteria in the remediation of metal contaminated soils. *Environmental Chemistry Letters*, 7(1) ;1-19.
81. **Kibria G., Yousuf Haroon A.K., Nugegoda D. et Rose G., 2010.** Climate change and chemicals. Environmental and biological aspects. New India Publishing Agency, New Delhi, 460p.

## Références bibliographiques

---

- 82. Kloepper J. W., Reddy M. S., Kenney D. S., Vavrina C., Kokalis-Burelle N., et Martinez-Ochoa N., 2004a.** Theory and applications of rhizobacteria for transplant production and yield enhancement. Proc. XXVI IHC – Transplant Production and Stand Establishment. *In* : Nicola S., Nowak J. et Vavrina C.S. Acta. Horticult., vol. 631, p.p. : 217-219.
- 83. Kloepper JW, Schroth MN (1981 a).** Development of a powder formulation of rhizobacteria for inoculation of potato seed pieces. *Phytopathology* 71, 590-592.
- 84. Kloepper, JW, Schroth, MN. 1978.** Plant Growth Promoting Rhizobacteria on radishes. *In* : Proc Int Conf Plant Pathol Bact Angers, 379-382.
- 85. Komarek M., Cadkova E., Chrastny V., Bordas F. et Bollinger J.C., 2010.** Contamination of vineyard soils with fungicides: A review of environmental and toxicological aspects. *Environment International*, vol. 36, p.p. : 138 – 151.
- 86. Kookana R.S., Baskaran S. et Naidu R., 1998.** Pesticide fate and behaviour in Australian soils in relation to contamination and management of soil and water: a review. *Australian Journal of Soil Research*, vol. 36, n. 5, p.p. : 715 – 764.
- 87. Kwak Y.S., Han S., Thomashow L.S., Rice J.T., Paulitz T.C., Kim D., Weller D M., 2011.** *Saccharomyces cerevisiae* Genome-Wide Mutant Screen for Sensitivity to 2,4-Diacetylphloroglucinol, an Antibiotic Produced by *Pseudomonas fluorescens*. *Applied and environmental microbiology*, 77, (5), pp 1770-1776.
- 88. Laterrot, H., Philouze, J. 1995.** Origine et diversité de la tomate. *INRA Mensuel*, 81, pp. 32-36.
- 89. Latour.X.V. and Lamanceau, P., P., 1997.** Carbon and energy Metabolism of oxidase-positive saprophytic Fluorescent *Pseudomonas* spp. *Agronomie*.17 :427-443.
- 90. Laumonnier, R. 1979.** Culture léguminière et maraichère. Tome III. Ed. Bailliere et fils. Paris.305p.
- 91. Laumonnier, R.1979.** Culture légumière et maraichère. TomeIII. Ed. Bailliere et Fils. Paris.305p.
- 92. Laville J, Blumer C, Von Schroetter C, Gaia V, Défago G, Keel C, Haas D.1998.** Characterization of the hcnABC gene cluster encoding hydrogen cyanide synthase and anaerobic regulation by ANR in the strictly aerobic biocontrol agent *Pseudomonas fluorescens* CHA0J *Bacteriol.*;180(12) :3187-96.
- 93. Lefrère J.J., Rouger P., 2000.** Transfusion sanguine :Une approche sécuritaire. John Libbey Eurotext, France.pp.175-177.

## Références bibliographiques

---

- 94. Lemanceau, P.1992.**Effets bénéfique de rhizobactéries sur les plantes, exemple des *Pseudomonas* spp *Fluorescens*.INRA , Laboratoire de recherches sur la flore pathogène et la faune du sol,17,rue Sully, BV1540 F21034 Dijon Cedex,France.
- 95. Lemanceau, P.1992.**Effets bénéfique de rhizobactéries sur les plantes, exemple des *Pseudomonas* spp *Fluorescens*.Agronomie 12, 413-437.
- 96. Leong .J. 1986.** Siderophores ; Their biochemistry and possible role in the biocontrole of Plant Pathogen.Annu Rev Phytopathol 24 ; 187-208.
- 97. Lepoivre P., 2003.** Phytopathologie. De. Boeck. Ed. 428p
- 98. Lepoivre, P., (2003).** Phytopathologie : bases moléculaires et biologiques des pathosystèmes et fondements des stratégies de lutte. De Boeck, Bruxelles. 427 P
- 99. Loper J.E. et Henkels M.D., 1999.** Utilization of heterologous siderophores enhances levels of iron available to *Pseudomonas putida* in the rhizosphere. Applied Environmental Microbiology, vol. 65, p.p. : 5357-5363.
- 100. Loper, J.E., Schroth, M.N. (1986)** Influence of bacterial sources of indole-3-acetic acid on root elongation of sugar beet. Phytopathology 76 : 386–389.
- 101. Lugtenberg.B.J., Chin.A.W.T.F.and Bloemberg.G.V., 2002.** Microbe. Plant-interactions: principles and mechanisms.Antonie Van Leeuwenhoek, 81 :373-383.
- 102. Marchall, N., Bourdon, J.L. & Richard, C. (1982).** Les milieux de culture pour l'isolement et l'identification biochimique des bactéries. Doin, Paris.
- 103. Mazzola, M et White, F. 1994.** Une mutation de l'indole-3- acétique voie de biosynthèse de l'acide *Pseudomonas Syringae* p v. *Syringae* affecte la croissance dans *Phaseolus vulgaris* et la production Syringomycin.J.Bacteriol.176 : 1374-1382.
- 104. Messaoud Benchabane,Dalila Toua, Rabah Bakour.2013.**Les *Pseudomonas* spp.*Fluorescens* Phytobénéfiques. Presses Académiques Francophones, 672 pages(Livre).
- 105. Messaoud Benchabane,Dalila Toua, Rabah Bakour.2013.**Les *Pseudomonas* spp.*Fluorescens* Phytobénéfiques.Biocontrol et phytostimulation , 672 pages(Livre).
- 106. Migula W., 1894.** Über ein neues System der Bakterien.Arbeiten ans dem. Backtriologischen „Institut der technischen Hochschule Zn Karlsruhe, 1, pp 235-238.
- 107. MillerH.S., BrowneP., Prigent-Combaret C., Combes-Meynet E, Morrissey J.P., O'GaraF., 2010.** Environmental Microbiology Reports, 2(3), pp 403-411.

## Références bibliographiques

---

- 108. Misko A.L.** et Germida-James J., 2002. Taxonomic and functional diversity of Pseudomonads isolated From the roots of field-grown canola. *FEMS Microbiology Ecology*, 42 :399-407.
- 109. Misko,A ,2. And Germida, J.J.2002.** Taxonomic and Functional diversity of Pseudomonads isolated from the roots of field.grown canol.*FEMS Microbiol.Ecol.*42.399-407.
- 110. Miyazaki H., Kato H., Nakazawa T. et Tsuda M., 1995.** A positive regulatory gene, *pvdS*, for expression of pyoverdinin biosynthetic genes in *Pseudomonas aeruginosa* PAO. *Mol. Gen. Genet.*, vol. 248, n. 1, p.p. : 17–24.
- 111. Morgan J.A., Bending G.D et White P.J., 2005.** Biological costs and Benefits to Plant-microbe interactions in the rhizosphere.*J.Exp.Bot.*Vol.56, p.p. :1729-1739.
- 112. Moynihan J.A., Morrissey J.P., Coppoolse E.R., Stiekema W.J., O’Gara F., Boyd E.F., 2009.** Evolutionary history of the *phl* gene cluster in the plant-associated bacterium *Pseudomonas fluorescens*.*Appl Environ Microbiol.*75.(7).pp.2122-2131.
- 113. Müller H., Westendorf C., Leitner E., Chernin L., Riedel, K., Schmidt S., Eberl L., et Berg G.2009.** Quorum-sensing effects in the antagonistic rhizosphere bacterium *Serratia plymuthica* HRO-C48.*FEMS Microbiology Ecology*.Vol.67.n.3, p.p.:468-478.
- 114. Naik R.-P., Sakthivel N., (2006).** Functional characterization of a novel hydrocarbonoclastic *Pseudomonas* sp. strain PUP6 with plant-growth-promoting traits and antifungal potential. *Res Microbiol*, 157, 538–546.
- 115. Nechadi, S, Benddine, F., Mumen, A., Kheddami, M. 2002.** Etat des maladies virales de la tomate et stratégie de lutte en Algérie, *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin*, 32 :21-24.
- 116. Ongena, M. and Thonart, P.2006.** Resistance induced in plants by non- pathogenic microorganisms : Elicitation and defense reponses.In *Floriculture, ornamental and plant biotechnology : advances and topical issues*,edited by A Jaime and T.D. Silva Japan : Global Science Books.
- 117. Ongena, M. and Thonart, P.2006.** Resistance induced in plants by non- pathogenic microorganisms : Elicitation and defense reponses.In *Floriculture, ornamental and plant biotechnology : advances and topical issues*.J .A.Teixeira la Silva (ed).Global Science Books, Ltd. pp : 447- 463.

## Références bibliographiques

---

- 118. Palleroni.N.J.,2008.** The rood to the taxonomy of Pseudomonas. In : Cornelis, P. (Ed), Pseudomonas : Genomics and Molecular biology. Caister Academic Press, Belgium. pp.1-18.
- 119. Palleroni.N.J., 1993.** Pseudomonads classification. A new case history in the taxonomy of Gram-negative bacteria.Antonie Van Leeuwenhoek. 64 :231-251.
- 120. Patten, C.L. and Glick, B.R., (2002).** Regulation of indoleacetic acid production in *Pseudomonas putida* GR12-2 by tryptophan and the stationary phase sigma factor RpoS. Can. J. Microbiol. 48: 635-642.
- 121. Peleg, Z., &Blumwald, E. (2011).** Hormone balance and abiotic stress tolerance in crop plants. *Current opinion in plant biology*, 14(3), 290-295.
- 122. Persello-Cartieaux F., Nussaume L., and Robaguila C., 2003.** Tales from the underground: Molecular plant-rhizobacteria interactions. *Plant cell Environ.*, 26, pp 189-199.
- 123. Pikovskaya, R.I. 1984.** Mobilization of phosphorus in soil connection with the vital activity of some microbial species, *Microbiology*, 17 : 362-370.
- 124. Pikovskaya, R.I., 1948.** Mobilisation of phosphorus in soil in connection with the vital activity of some microbial species.*Microbiologiya* 17,362-374.
- 125. Plassard, C., Robin, A., Le Cadre-Barthelmy, E, Marsden,C., Trap,J., et al.2015.**Améliorer la biodisponibilité du phosphore : comment valoriser les compétences des plantes et les mécanismes biologiques du sol. *Innovations Agronomiques*, INRA, 43: 115-138.
- 126. Podile A.R. et Kishore K.G., 2006.** Plant Growth Promoting Rhizobacteria. *In: Plant Associated Bacteria. Gnanamanickam S.S.* Springer , The Netherlands. p.p. : 195-230.
- 127. Raaijmakers J.M., de Bruijn I. et de Kock M.J.D., 2006.** Cyclic lipopeptide production by plant-associated *Pseudomonas* spp.: diversity, activity, biosynthesis, and regulation. *MPMI*, vol. 19, n. 7, p.p. : 699–710.
- 128. Ramette A., Frapolli M., Défago G., Moëgne-Loccoz Y., 2003.** Phylogeny of HCN synthase-encoding hcnBC genes in biocontrol fluorescent pseudomonads and its relationship with host plant species and HCN synthesis ability. *Mol Plant Microbe Interact*, 16 (6), pp. 525-35
- 129. Ramette A., Frapolli G. Défago and Y. Moëgne- Loccoz., 2003.** Phylogeny of HCN synthase-encoding hcnBC genes in biocontrol fluorescent pseudomonads and its relationship with host plant species and HCN synthesis ability. *Mol Plant Microbe Interact* 16:525-535.

## Références bibliographiques

---

130. Ramos Solano, B., J. Barriuso Maicas , M.T. Pereyra de la Iglesia, J. Domenech, et F.J. Gutiérrez Mafiero, 2008 b. Systemic disease protection elicited by Plant Growth Promoting Rhizobacteria strains : relation ship between metabolic responses, Systemic disease protection, and biotic elicitors. *Phytopathology*.98 : 451-457.
131. Ramos Solano, B., J. Barriuso Maicas,et F.J. Gutiérrez Mafiero. 2008a. Physiological and molecular mechanisms of Plant Growth Promoting Rhizobacteria(PGPR), interactions.Wiley-Vch, Weinheim.
132. Rick, C.M. 1979. Tomaato. In: Hawkes J.G., Lester R.N., Skelding A.D. The biology and taxonomy of *Solanacese*. Ed. Academic Press, London, pp. 667-677.
133. Rodriguez H, Fraga R.1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in Plant Growth Promoting. *Biotechnology Advances*.17 :319-339.
134. Ruiz-Lozano, J. M., Porcel, R., Azcón, C., and Aroca, R. 2012. Regulation by arbuscular mycorrhizae of the integrated physiological response to salinity in plants: new challenges in physiological and molecular studies. *Journal of Experimental Botany*, 63(11), 4033-4044.
135. Saharan B.S., et Nehra V., 2011. Plant Growth Promoting Rhizobacteria: A Critical Review. *Life Sciences and Medicine Research*, vol. : LSMR-21.
136. Sahin, F., Cakmakci, R., et Kantar, F., 2004. Sugar beet and barley yields in relation to inoculation with N2- fixing and Phosphate Solubilizing bacteria. *Plant Soil*, N°265 P 123-129.
137. Shabala, S., and Munns, R. 2012. Salinity stress: physiological constraints and adaptive mechanisms. *Plant stress physiology*, 59-93.
138. Shameer,T et Prasad, S ., 2017 .Plant growth promoting rhizobacteria for sustainable agricultural practices with special reference to biotic and abiotic stresses.
139. Sharma A., Singh S., Pawar K.K ., Jerman M., Singh L.B., Singh S et Srivastawar D.2013. Le contrôle biologique et son importance dans l'agriculture. *International Jornal of Biotechnology and Bioengineering Research*.3 :175-180.
140. Sharma K, Dak G, Agrawal A, Bhatnagar M, Sharma R. 2007. Effect of phosphate solubilizing bacteria on the germination of Cicer arietinum seed sand seedling growth.*J.Herb. Med. Toxicol.* 1: 61-63.
141. Singh,S, Kapoor,KK.1994.Solubilization of insoluble phosphates by bacteria isolated from different sources.*Environ Ecd* 12 :51-55.

## Références bibliographiques

---

- 142. Sivasakthi S, Usharani G and P. Saranraj, (2014).** Biocontrol potentiality of plant growth promoting bacteria (PGPR) - *Pseudomonas fluorescens* and *Bacillus subtilis*. Vol. 9(16), pp. 1265-1277, African Journal of Agricultural Research.
- 143. Sivasakthi,S, Usharani,G .,& P, Saranraj ,2014.**Potential de biocontrôle des bactéries favorisant la croissance des plantes (Plant Growth Promoting Rhizobacteria).*Pseudomonas Fluorescens* et *Bacillus subtilis* :Une revue.Revue africaine de recherche agricole, 9(16),1265-1277.
- 144. Sivasakthi,S, Usharani,G and P, Saranraj ,2014.** Biocontrol potentiality of Plant Growth Promoting Rhizobacteria.*Pseudomonas Fluorescens* and *Bacillus Subtilis*.Vol.9(16), pp. 1265-1277.Africain Journal of Agricultural Research.
- 145. Steenhoudt O. et Vanderleyden J., 2000.** *Azospirillum*, a free-living nitrogenfixing bacterium closely associated with grasses: genetic, biochemical and ecological aspects. FEMS Microbiology Reviews, vol. 24, p.p. : 487-506.
- 146. Sturz, A.and B .Christie. 2003.** Beneficial microbial allelopathies in the roote zone : The management of soil quality and Plant disease with rhizobacteria.soil and Tillage Research 72(2) : 107-123.
- 147. Sundara, B., Natarajan, V., Hari, K., 2002.** Influence of phosphorus solubilizing bacteria on the changes in soil available phosphorus and sugarcane and sugar yields. Field Crops Research. 77: 43-49.
- 148. Tabet-Aoul M., 2010.** *Développement et environnement au Maghreb : Contraintes et enjeux*. Institut québécois des hautes études internationales, Québec, 251 p
- 149. Taffouo, V. D., Nouck, A. H., Dibong, S. D., and Amougou, A. 2013.** Effects of salinity stress on seedlings growth, mineral nutrients and total chlorophyll of some tomato (*Lycopersicum esculentum* L.) cultivars. African Journal of Biotechnology, 9(33).
- 150. Talon D., Thouverez M., Bertrand X.2006.** Role des *Pseudomonas* et apparentés dans les infections nosocomiales. XVIIe Congrès national de la SFHH.22-24.
- 151. UNFPA, 2011.** Etat de la population mondiale 2011. <http://foweb.unfpa.org/SWP2011/reports/FR-SWOP2011.pdf>.
- 152. Van loon, L., 2007.** Plant responses to Plant Growth Promoting Rhizobacteria.Eur.J.Plant Pathol.N°119 P 243-254.
- 153. Vessey, K.J., 2003.** Plant Growth Promoting Rhizobacteria as biofertilizers.Plant and soil, 255:571-586.

## Références bibliographiques

---

154. **Weller D.M., 1988.** Biological control of soil borne pathogens in the rhizosphere with bacteria. *Ann Rev Phytopathol.*26 :379-407.
155. **Weller D.M., 2007.** The Nature and Application of biocontrol Microbes III : *Pseudomonas* spp., *Pseudomonas* biocontrol Agents of soil borne Pathogens : Looking Back Over 30 years. *Phytopathology*, 97, (2) , pp, 250-256.
156. **Weller, D.M., 1988.** Biological control of soil borne plant pathogens in the rhizosphère with Bacteria. *Annu. Rev. Phytopathol.*26 :379-407.
157. **Whipps J.M. (1990).** Carbon utilization. pp: 59-97. In: *The Rhizosphere*. Lynch J.M. (ed.). Wiley Interscience, Chichester, UK.
158. **Whipps, J .M.2001.** Microbial interactions and biocontrol in the rhizosphere. *Journal of experimental Botany*, 52(Suppl-1),487-511.
159. **Whitelaw MA. 2000.** Growth promotion of plants inoculated with phosphate solubilizing fungi. *AdvAgron.*69:99-151.
160. **Whitelaw MA. 2000.** Promotion de la croissance de les plantes inoculé avec phosphate champignons solubilisants. *Av. Agron.*, 69 : 99.
161. **Wightwick A. et Allinson G. 2007.** Pesticide residues in Victorian waterways: a review. *Australasian Journal of Ecotoxicology*, vol. 13, p.p. : 91 – 112.
162. **Willer, DM, Howie WJ, Cook, RJ., 1988.** Relation ships between in vitro inhibition of *Gaeumannomyces graminis* Var *tritici* and Suppression of take all wheat by *fluorescens* *Pseudomonads*, *Phytopathology* 78,1094-1100.
163. **Williams and Wilkins, Baltimore, Sneath, P.H.A., Mair, N.S., Sharpe, ME. & Holte, J.G. EDS., 1986.** *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*, 1St ed ., Vol.2
164. **Xavier I.J., Holloway G. et Leggett M., 2004.** Development of rhizobial inoculants Formulations <http://www.plantmanagementnetwork.org/pub/cm/review/2004/develop/>, consulté le 17-11-2011.
165. **Yang J., Kloepper J.W. et Ryc C.M., 2009.** Rhizosphère bacteria help plants tolerate abiotic stress. *Trends Plant SCI.*, Vol.14.pp :1-4.
166. **Yang, C.H. & Crowely, D.E. 2000.** Rhizosphere Microbial Community structure in Relation to Root Location and Plant Iron Nutritional Status. *Appl Environ Microbiol* 66(1) :345-351.
167. **Yingjie Wu, Luyao Ma, Qizhen Liu, Md Maniruzzaman Sikder, Mette Vestergård, Kaiyue Zhou, Qiong Wang, Xiaoe Yang et Ying Feng., 2020.** *Pseudomonas Fluorescens* promote photosynthesis, carbon fixation and cadmium

## Références bibliographiques

---

phytoremediation of hyperaccumulator *Sedum alfredii*. Science of the Total Environment. Volume 726.

**168. Yoldas F, Esiyok D (2007).** Effects of sowing dates and cultural treatments on growth, quality and yield of processing beans. *Pak. J. Biol. Sci.*, 10:2470-2474.

**169. Zahir Z., A., Arshad M.et Franken berger W.T., 2004.** Plant Growth Promoting Rhizobacteria : applications and perspectives in agriculture. *Adv. In. Agrom*, Vol.81.p.p. : 97-168.

### Référence Web :

(1):<http://tomatosphere.parlonssciences.ca/Ressources/bibliotheque/ArticleId/4663/taxonomie-de-la-tomate.aspx>.

(2): <https://www.google.com/search=Photo de la culture de la tomate>.

(3): <https://fr.wikipedia.org/wiki/Tomate>.

(4): <http://data.gbif.org/species/13192651/>.

(5): <https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=taxonomie+de+la+tomate>.

(6): <https://maparcelledebonheur.com/2013/05/la-tomate-se-merite/>.

(7):<https://www.gammvert.fr/conseils/conseils-de-jardinage/comment-faire-ses-propres-graines-de-tomates>.

(8):<https://www.google.com/search?q=Photo+de+la+culture+de+1%E2%80%99haricot>.

(9):<https://www.africmemoire.com/part.3-chapitre-i-generalite-sur-le-hariccot-842.html>.

(10): [https://www.google.com/search=Photo de \*Pseudomonas\*](https://www.google.com/search=Photo de Pseudomonas).

(11) : <https://www.google.com>.

(12) : <http://www.biofertilisants.fr/zoom-les-bacteries-solubilisatrices-phosphore/>



# **Annexes**

## Annexes.

### 1- Milieu King B (King et al ; 1954).

- Peptone.....20 g
- Glycérol.....15
- K<sub>2</sub> HPO<sub>4</sub>.....1,5 g
- Mg SO<sub>4</sub>.....1,5 g
- Agar -Agar.....20 g
- Eau distillée q.s.q.....1000 ml

Ajuster à un PH= 7,2. Autoclavage à 120°C pendant 20mn

### 2-Milieu Chapman.

- Extrait de viande.....1g
- Nacl.....75g
- Peptone.....20g
- Mannitol.....10g
- Gélose.....20g
- Rouge de phenol.....0.25g
- Eau distillée q .s.p.....1000ml.

### 3- Milieu MS (Minéral Salt Médium) (Edi ; 2006).

- k<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> ..... 1,36 g
- Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> .....1.36 g
- MgSO<sub>4</sub> ..... 0.2 g
- Eau distillée H<sub>2</sub>O q.s.p.....1000 ml
- Tryptophane.

Ajuster à un PH= 7

## Annexes

---

### 4- Milieu PVK (Pikovskaya) (Pikovskaya ; 1948).

- D-Glucose.....10g
- Phosphate Calcium ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ).....5g
- Sulphate Ammonium ( $\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  .....0,5g
- Potassium Chlorite (KCl).....0.2g
- Chlorure de Sodium (NaCl).....0,2g
- Sulfate Magnésium ( $\text{MgSO}_4, 7\text{H}_2\text{O}$ ).....0.1g
- Sulfate Manganèse ( $\text{MnSO}_4$ ).....0.002g
- Extrait de levure.....0,5 g
- Sulfate de Fer ( $\text{FeSO}_4$ ).....0,002g
- Eau oxygénée  $\text{H}_2\text{O}_2$ .....1000 ml
- Agar –Agar.....20g

### 5- Milieu Mannitol de mobilité (Gardan et Luisetti, 1981).

- Peptone .....20g
- Nitrate de Potassium .....1g
- Mannitol .....2g
- Rouge de Phénl.....40g
- Gélose.....4g.
- Eau distillé q.s.q .....1000Mml

Ajuster à un PH= 8,1. Autoclavage à 120°C pendant 20mn

## Annexes

---

### 6- Milieu Citrate de Simmons (Garden et Luisetti, 1981).

- Sulfate de magnésium (Mgso4).....0, 2g
- Ammonium dihydrogenophosphate.....1g
- Phosphate dipotassique .....1g
- Citrate de Sodium..... 2g
- Chlorure de Sodium( Nacl) .....5g
- Bleu de bromothymol..... 0,08g
- Agar .....20g
- Eau distillée q.s.q .....1000ml

Ajuster à un PH= 6,6. Autoclavage à 120°C pendant 20mn

### 7- Milieu de Gélatine (Garden et luisetti, 1981).

- Extrait de levure .....3g
- Batéριοpeptone.....5g
- Gélatine.....120g
- Eau distillée q.s.q .....1000ml.

Ajustez à un PH = 6.8. Autoclavage 120°C pendant 20 mn.

### 8 - Milieu de Clark et lubs (Marchl et Bourdon, 1982).

- Peptone tryptique ou polypeptone.....5 à 7g
- Glucose.....5g
- Phosphate bipotassique (K2PO4).....5g
- Eau distillé q.s.q.....1000ml

Ajuster à un PH= 7,2. Autoclavage à 120°C pendant 20mn

**9- Milieu TSI (Garden et Luisetti, 1981).**

- Peptone .....20g
- Extrait de viande.....3g
- Extrait de levure .....3g
- Chlorure de Sodium.....5g
- Citrate ferrique .....0.3g
- Thiosulfate de Sodium .....0.3g
- Lactose.....10g
- Saccharose.....10g
- Glucose .....1g
- Rouge de Phénol .....0.5g
- Agar -Agar .....2g.

Ajuster à un pH =7.4