



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur
Et de la Recherche Scientifique
Université de Tissemsilt



Faculté des Sciences et de la Technologie
Département des Sciences de la Nature et de la Vie
Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme
De Master académique en
Filière : Sciences Biologiques
Spécialité : Microbiologie appliquée

Présentée par :

CHEKROUN Malika

MOURI Chaima

Thème

**Essai d'introduction des souches à effet PGPR sur un couple
symbiotique, cas de la vesce commune (*Vicia sativa* L)**

Soutenu le, 13 /Juin /2023

Devant le Jury :

BOUNACEUR F	Président	Prof.	Univ-Tissemsilt
LAABAS S	Encadrant	M.C.A.	Univ-Tissemsilt
SETTI K	Examinatrice	M.C.B.	Univ-Tissemsilt

Année universitaire : 2022/2023

Remerciement

En premier lieu, nous remercions **Dieu** le tous puissant de nous avoir donné la volonté, le courage et la patience pour réaliser ce travail.

Nous adressons nos sincères remerciements à notre encadrant **Dr .LAABAS Saadia**, pour sa suivi, son aide et ses précieux conseils. Notre immense gratitude et notre grand respect, pour tous ses efforts, son savoir, ses idées, sa grande disponibilité, sa confiance et ses encouragements.

Nous tenons également à remercier **Monsieur SI EL ARBi** pour son aide, son patience et ses conseils, Nous exprime notre gratitude et notre profond respect.

Nos remerciements infiniment **Monsieur ABD EL Rahim**, pour son orientation tout au long de notre stage et tous les membres de DSA de la Wilaya de tissemsilt précisément de la commune d'Amari.

Nos remerciements s'étendent aussi à tous les laborantins de l'EPS Tissemsilt surtout **Mme Sounia** et **Mme Zahra**.

Merci également à tous les ingénieurs de notre Laboratoire surtout **Mme CHAHIH Hadjira** pour ses précieux conseils, sa gentillesse, son aide.

Enfin, Nos remerciements ceux qui ont contribué de lion ou de prés à la réalisation de ce travail

Dédicaces

En signe de respect et de reconnaissance, je dédie ce modeste travail à ceux qui sont toujours, Présents dans mon cœur à mes chers parents.

A mon support dans ma vie, qui m'a appris, m'a supporté et ma dirigé vers la gloire

A mon très cher père

A celle qui m'a arrosé de tendresse et d'espoirs, à la source d'amour, à la mère des sentiments fragiles qui ma bénie par ces prières

A ma très chère mère

A mon oncle « mon deuxième père » que dieu le garde dans son vaste paradis **et son épouse « ma deuxième mère »**

A mes très chers frères et sœurs :

Kadi, Abd El-Kader, Djaloul, Ahmed, Nouri, Belkacem, Sans oublier Tahar et Badro, Zohra, khaira, Khadîdja et Aicha qui étaient toujours à mes cotés, je vous remercie infiniment pour votre soutien et vos encouragement et surtout vos amour.

A mes belles soueur et beaux frère :

Nasira, khaira et Nedjma, Khadidja et Ahlem, Tahar, Ibrahim, Sassi et Azzeddine

A ma source de joie à mes très chères nièces et neveux :

Ismail, Zakaria, Amine, Ishak, Abd El Malek, Abire, Rahaf, Wissem, Lodjayne, Yasmine, Lilia, Wissal et Ila que dieu vos protège

A toute ma famille

A tous mes amis surtout

Iman, Rabiaa, Hayate, Wissem, Ghzeil, Khadidja, Djahida, ALya, Nassira, Khawla et Samia, Khalida, Houda et Sabah que DIEU Vous protège.

A celle qui m'a partagé des beaux souvenirs dans la réalisation de ce travail **A mon binôme Chaimaa**, merci pour votre gentillesse.

A ma source d'encouragement dans tous les années de mes étude universitaire jusqu'à la réalisation de ce travail, a Sidou que dieu te bénisse.

MALIKA

Dédicaces

En signe de respect et d'appréciation, je tiens à dédier ce modeste travail :

A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma
vie et mon bonheur

Ma mère Rachida

A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie
et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, que dieu le
garde dans son vaste paradis,

Mon Père Mustapha

A mon beau-père Moussa

Qui m'a soutenu dans mes études

A ma belle sœur Nour Elyakin

A mes frères Saif Eldine et Adel Malk et Mohamed Amine

A toute ma famille et à tous mes amis

Je dédie ce travail également à tous ceux qui m'ont encouragé et aidé à réaliser
ce travail de près ou loin et qui ont participé à ma réussite.

CHAIMAA

LISTE DES ABREVIATIONS

CE : Conductivité Electrique

cm : centimètre

CO₂ : Le dioxyde de carbone

H₂O : Monoxyde de dihydrogène

H₂O₂ : Peroxyde d'hydrogène

HCN : Le cyanure d'hydrogène

ISR : Résistance systématique induite

K : Potassium

mm : millimètre

N : Azote

N₂ : l'azote atmosphérique

NH₃ : Ammoniac

NH₄⁺ : Ammonium

NO₃ : Nitrate

NPK: Azote, Phosphore, Potassium

O₂: L'oxygène

P: Phosphore

PGPR: Plant Growth Promoting Rhizobacteria

PGPRE: extracellular Plant Growth Promoting Rhizobacteria

PGPRI: Intracellular Plant Growth Promoting Rhizobacteria

PH : Potentiel Hydrogène

Pi : Phosphore inorganique

Po : Phosphore organique

Table de matière

Introduction	01
---------------------------	-----------

CHAPITRE I : Etude bibliographique

I. Généralités sur les légumineuses	02
1. La vesce commune (<i>Vicia sativa</i> L)	02
1.1. Origine de la vesce commune	02
1.1.1. Origine géographique	02
1.1.2. Origine génétique	03
1.2. Classification botanique de la vesce commune	03
1.3. Caractéristiques botaniques de la vesce commune	03
1.4. Les exigences culturales de la vesce commune	04
1.4.1. Sol	04
1.4.2. pH	04
1.4.3. Température	04
1.4.4. Précipitation	05
1.5. Importance de la vesce commune	05
1.6. Production mondiale de la vesce (<i>Vicia sativa</i>)	05
1.7. Production de la vesce (<i>Vicia sativa</i>) en Algérie	06
2. Les PGPR (Plant Growth-Promoting Rhizobacteria)	06
2.1. Mécanismes d'action des PGPR	07
2.1.1. Les mécanismes directs	08
2.1.1.1. La fixation d'azote	08
2.1.1.2. Solubilisation de phosphore	08
2.1.1.3. Solubilisation de potassium	08
2.1.1.4. Production des sidérophores	09
2.1.1.5. Production des phytohormones	09
2.1.2. Les mécanismes indirects	10
2.1.2.1. Production des antibiotiques	10
2.1.2.2. Production au cyanure d'hydrogène (HCN)	10
2.1.2.3. Résistance systématique induite (RSI)	11
2.1.2.4. Production d'enzymes lytiques	11
2.1.2.5. La compétition pour l'espèce et les nutriments	11
3. La symbiose <i>rhizobium</i> légumineuse	12
3.1. Spécificité de la symbiose	12
3.2. Intérêt de la symbiose	12
3.3. Facteurs influençant la symbiose <i>Rhizobium</i> -légumineuse	12
3.4. La nodulation	13
3.4.1. Les étapes de la nodulation	13
a. Pré-infection	13
b. Phase d'infection et de formation des nodules	13
c. Maturité du nodule	14
3.4.2. Types de nodule	14

CHAPITRE II : Matériel et méthodes

1. Matériel végétal et la mise en place de l'essai	16
1.1 Echantillonnage de sol	16
2. Les souches bactériennes	17
2.1 Vérification de la pureté des souches	17
2.1.1 Etude macroscopique	17
2.1.2 Etude microscopique	17
2.2. Etude des enzymes respiratoires	18
2.2.1. Test de catalase	18
2.2.2. Test d'oxydase	18
3. Identification biochimique par les Galeries API 20 NE	18
4. Recherche de la sensibilité aux antibiotiques.....	19
5. Conservation des souches	20
6. Inoculation des plantules de la vesce commune (<i>Vicia sativa</i> L)	20
7. Etude statistique	21

CHAPITRE III : Résultats et discussion

1. Les souches bactériennes	22
1.1. Etude macroscopique	22
1.2. Etude microscopique	22
3. Etude des enzymes respiratoire	23
3.1. Test de catalase	23
3.2. Test d'oxydase	23
4. Identification des souches par la Galerie API 20 NE	24
5. Antibiogramme	25
6. Inoculation des plantules de la vesce commune (<i>Vicia sativa</i> L)	26
6.1. Analyse physico-chimique du sol	26
6.2. Effet souche sur le nombre de nodules formés	27
6.3. Effet de l'inoculation sur la longueur de la partie aérienne et racinaire	28
6.4. Effet de l'inoculation sur le poids frais et sec des plantes	29
Conclusion.....	31

Références Bibliographiques

Annexes

Liste des figures

Figure 01: Caractéristiques botaniques de la vesce (<i>Vicia sativa</i> L.)	04
Figure 02: Les rhizobactéries intracellulaires (PGPRi) et extracellulaires (PGPRE).....	07
Figure 03: Promotion de la croissance des plantes par les PGPR.....	07
Figure 04: Gestion du stress biotique, abiotique à médiation phytohormonale	09
Figure 05: Les étapes de la nodulation.....	14
Figure 06: Une représentation schématique de la structure des nodules déterminés (a) et indéterminé (b)	15
Figure 07 : Les grains de la vesce commune (<i>Vicia sativa</i> L) utilisée dans l'expérience.....	16
Figure 08 : Image satellite de site expérimentale.....	16
Figure 09 : Ensemencement de la galerie API 20NE.....	18
Figure 10 : Diffusion de disque d'antibiotique sur la gélose Mueller-Hinton	19
Figure 11: Conservation des souches	20
Figure 12: Mise en place de l'essai	21
Figure 13 : Aspect macroscopique de la souche B1	22
Figure 14 : Aspect microscopique de la souche B4 après coloration de gram (Grossissement ×1000)	23
Figure 15: Mise en évidence de l'activité de la catalase : A : positive B : négatif	23
Figure 16 : Mise en évidence de l'activité de l'oxydase : A : positive B : négative.....	24
Figure 17: Galerie API 20NE ensemencée par la souche S5 après 24h d'incubation	24
Figure 18 : Mise en évidence de l'antibiogramme A. Bactérie sensible au Gentamicine B.bactérie résistante au Tétracycline.....	25
Figure 19 : Les racines de la vesce commune (<i>Vicia sativa</i> L) après l'inoculation.....	28
Figure 20 : Effet de souches a effet PGPR sur la longueur de la partie aérienne et racinaire la Vesce (<i>Vicia sativa</i>)	29
Figure 21 : Effet de souches a effet PGPR sur le poids frais et sec de plantes de la Vesce commune (<i>Vicia sativa</i>)	30

Liste des tableaux

Tableau 01 : Production de la vesce commune dans la Wilaya de Tissemsilt durant la période 2018 /2022.....	06
Tableau 02 : Diamètre critiques pour les antibiotiques utilisés selon les recommandations du comité de l'antibiogramme de la société française de microbiologie	19
Tableau 03: Aspect macroscopique des souches sélectionnées	22
Tableau 04: Les caractéristiques des souches identifiées	24
Tableau 05: Resistance de souches aux antibiotiques	26
Tableau 06: Les analyses physico-chimique du sol échantillonné	27

INTRODUCTION

Introduction

La demande mondiale pour augmenter la production alimentaire et réduire simultanément les apports d'engrais azotés dans l'agriculture justifient la nécessité d'intensifier l'utilisation des cultures de légumineuses (Ferguson *et al.*, 2018).

La vesce commune (*Vicia sativa* L.) est l'une des légumineuses fourragère les plus cultivées pour plusieurs raisons, notamment pour sa grande valeur nutritionnelle, ainsi que sa capacité à se développer dans un large éventail de conditions climatiques et pédologiques.

La vesce est également capable de produire ses propres nitrates, un élément nutritif essentiel pour une croissance saine de la plante (Abbasi *et al.*, 2014) via l'établissement de relations symbiotique avec les microorganismes du sol ; raison pour laquelle de nombreuses approches expérimentales ont été effectuées pour élaborer et étudier les interactions bénéfiques entre les bactéries rhizosphériques et les plantes (Gamalero, 2022) tels que les PGPR (Plant growth Promoting Rhizobacteria) et les bactéries fixatrices de l'azote. Ces microorganismes telluriques peuvent améliorer la croissance des plantes *via* une large *gamme de mécanismes* tels que la solubilisation du phosphate, la production de phytohormones, la fixation biologique de l'azote. Certaines bactéries sont capables d'avoir un effet protecteur en induisant des mécanismes de défense via l'élimination des agents pathogènes (Glick, 2012) et la résistance systémique induite (RSI)(van Loon, 2007)

Les substances favorisant la croissance sont susceptibles d'être produites en grandes quantités par ces rhizobactéries qui influencent indirectement la morphologie générale des plantes, ce qui en fait un élément fiable dans la gestion d'un système agricole durable (Bhattacharya et Jha, 2012), qui pourrait remplacer ou diminuer efficacement les intrants chimiques introduits dans le sol qui sont à la fois onéreux et polluants (Verma *et al.*, 2013).

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'effet de l'inoculation des souches à effet PGPR sur le développement de la vesce commune (*Vicia sativa*), et de sélectionner des souches indigènes à haut potentiel promoteur de la croissance de plantes. L'évaluation de potentiel symbiotique entre les bactéries fixatrices d'azote indigènes du sol et leur plante hôte après l'inoculation est également parmi les objectifs visés. Huit souches ont été testées, leur identification a été basée sur la détermination des caractères morphologiques et biochimiques.

**Etude
bibliographique**

I. Généralité sur les légumineuses

Les légumineuses occupent la deuxième place après les céréales en termes de production agricole, nutrition humaine, et alimentation animale (Bosmali *et al.*, 2022) ; elles forment une grande famille (*Fabaceae*) qui comprend des plantes à caractère ornemental, fourragère et alimentaire, ces dernières sont distribuées en 3 groupes: Les légumes secs (lentilles, pois...), les oléagineux (arachides...) et les légumes à gousses (Remond et Warland, 2017).

Les *Fabaceae* comprennent 670 genres et environ 20 000 espèces, réparties en trois sous-familles (*Papilionoideae*, *Mimosoideae* et *Caesalpinioideae* (Lewis *et al.*, 2005), elles présentent toutes une particularité dans leur système racinaire, une symbiose avec une bactérie du sol (*Rhizobia*), qui leur permet de bénéficier de l'azote de l'air pour leur croissance, et pour produire leur propre protéine sans recours aux intrants chimiques (Le Chatelier *et al.*, 2016). Parmi les légumineuses les plus étudiées est celle de genre *Vicia*, cette légumineuse a une importance économique remarquable pour les humains et les animaux, en raison de sa valeur alimentaire, fourragère et médicinale (Haq *et al.*, 2022).

1. La Vesce commune (*Vicia sativa* L.)

Vicia sativa L ou la vesce commune est une légumineuse annuelle appartenant à la famille des *Fabaceae* et au genre *Vicia*. Ce genre contient environ 180 à 210 espèces (Xi *et al.*, 2022). La vesce commune (*Vicia sativa*) est cultivée sous forme d'engrais vert qui fournit une couverture végétale rapide au sol, et enrichit le sol en azote du fait de sa capacité à fixer l'azote de l'air, ainsi qu'en matière organique. Selon Pál et Zmóbik, (2022), la Vesce peut réduire l'érosion des sols pendant l'automne. La vesce commune varie considérablement, y compris les formes sauvages, les mauvaises herbes et les variétés cultivées, c'est une culture secondaire de foin et de grain utilisée presque exclusivement pour l'alimentation du bétail (Zohary *et al.*, 2012).

1.1 Origine de la vesce commune (*Vicia sativa* L.)

1.1.1 Origine géographique

Légume de la tribu *Fabae* de la sous famille *Papilionoideae* sont distribués dans le monde entier tous au long de l'Eurasie, l'Afrique et de l'Amérique (Bosmali *et al.*, 2022). Pendant les années de la famine, les habitants de certaines régions d'Europe et du Moyen-Orient ont détourné la vesce commune pour consommation en saumure. La vesce

commune (*vicia sativa*) était la nourriture de l'homme ordinaire dans les fouilles archéologique des sites néolithique et l'âge du Bronzes, ainsi que dans les anciennes colonies Romains en Europe (Li *et al.*, 2022).

1.1.2 Origine génétique

La vesce commune (*Vicia sativa* L.) est une plante autofécondée, diploïde ($2n=2x=12$ chromosomes), à port grimpant ou ascendant, à grains sphériques, légèrement comprimés, lisses, de 4,5 à 7,0 mm de diamètre. Ces espèces sont étroitement liées à un groupe de formes sauvages et adventices inhabituellement variables (et chromosomiquement complexes) dont la distribution est concentrée dans le bassin méditerranéen (Zohary *et al.*, 2012).

1.2 Classification botanique de la vesce (*Vicia sativa* L.)

Selon la classification APG III (2009) ; la systématique de l'espèce *Vicia sativa* est la suivante:

- **Règne :** *Plantae*
- **Clade :** *Angiosperme*
- **Clade :** *Dicotylédones vraies*
- **Noyau :** *des Dicotylédones vraie*
- **Clade :** *Rosidées*
- **Clade :** *Fabidées*
- **Ordre :** *Fabales*
- **Famille :** *Fabaceae*
- **Sous-famille :** *Papilionoideae*
- **Tribu :** *Fabeae*
- **Genre :** *Vicia* L
- **Espèce :** *Vicia sativa* L

1.3 Les caractéristiques botaniques de la vesce (*Vicia sativa* L.)

La vesce commun (*Vicia sativa* L) à une tiges annuelles à érection ascendante grimpant jusqu'à 1 m de long, folioles 4-8 paires, de 3,5 cm de long, rectangulaires à elliptiques avec une petite encoche terminale se terminant par une courte pointe effilée, fleurs généralement par paires à l'aisselle, presque sessiles, violettes ou pourpres rarement blanches)

de 2,3 cm de long, légume aplatie, 3-7 cm de long, brun, graines aplaties, 5 mm de large (figure 01) (Aarssen *et al.*, 1986).



Figure 01:Caractéristiques botaniques de la vesce (*Vicia sativa* L.)

(Xi *et al.*, 2022)

Echelle (A) = 10 cm, (B, C, E) = 1 cm, (D) = 2 cm.

1. *Vicia sativa* au stade floraison (après dix semaines de semi).
2. Tige détachée montrant des feuilles composées à chaque nœud.
3. Apex de pousse avec une fleur et de jeunes feuilles entourant.
4. Gousses jeunes à matures (de gauche à droite), avec une graine représentative indiquée au bas de chaque gousse. Chaque gousse contient 3 à 5 graines.
5. Graines sèches du cultivar Studenica.

1.4. Exigences culturelle de la vesce (*Vicia sativa* L.)

1.4.1. Le sol : La vesce commune est adaptée à un large éventail de conditions de sol, se portant mieux sur les loams, les loams sableux ou les sols graveleux, mais aussi sur les sols argileux et limoneux argileux à texture fine, qui permettra un bon drainage (Sattell *et al.*, 1998)

1.4.2. pH : La vesce commune tolère un pH de 5,5- 8,2, mais le pH optimal est de 6,5 (Sattell *et al.*, 1998).

1.4.3 .Température :La vesce commune est modérément résistant au froid (Sattell *et al.*, 1998), la vesce d'hiver est beaucoup plus résistant au froid, elle support 12° à 18°C, alors que les variétés de printemps sont tuées par des températures de l'ordre de -6° à -8°C (Cotte, 1961)

1.4.4 Précipitation : Les zones de précipitation faible à moyenne (325-450 mm) sont considérées comme fournissant les meilleures conditions de croissance pour la vesce commune (Huang *et al.*, 2016).

1.5. Importance de la vesce commune

La vesce commune (*Vicia sativa*) est une légumineuse annuelle de grande importance économique et écologique, qui se caractérise par une valeur nutritive élevée pour l'alimentation des animaux, la graine de la vesce contient jusqu'à 30 % protéine brutes et riches en acides aminés essentiels et en acides gras insaturés (Xi *et al.*, 2022), en tant que source importante de protéines pour le bétail et les humains, la vesce commune (*Vicia sativa* L.) est couramment utilisée dans la production de biocarburant à base de méthane et dans les aliments favorables à la santé (Zhou *et al.*, 2022).

La vesce est connue par sa capacité à s'adapter à diverses conditions pédoclimatiques (Parrissi *et al.*, 2022), elle est aussi cultivée comme engrais vert qui enrichit le sol en azote du fait de sa capacité à fixer l'azote de l'air, et souvent utilisée en rotation avec d'autres cultures aux champs afin d'améliorer la fertilité du sol (Dong *et al.*, 2016).

Une telle approche peut améliorer la durabilité globale du secteur agricole. Plus précisément, il a été démontré que la croissance des légumineuses en rotation avec des céréales d'autres cultures améliorent la fertilité du sol et réduisent la nécessité d'engrais chimiques en raison des quantités élevées en azote et de la matière organique qu'elles fournissent (Vouraki *et al.*, 2023) ; d'après Wei *et al.*, (2023) la vesce commune a une capacité latente dans un agro écosystème durable.

1.6. Production mondiale de la vesce (*Vicia sativa*)

Les espèces de *Vicia* montrent une large distribution dans les zones tempérées de l'hémisphère nord et les régions tropicales d'Amérique du Sud (Hanelt et Mettin, 1989). Parmi les différents genres de Fabaceae largement répandus dans la région méditerranéenne, *Vicia* présente une grande diversité d'espèces (Kupicha, 1983 ; 1976). Bien que le nombre total d'espèces n'ait pas encore été défini de manière concluante (Hanelt et Mettin, 1989). Il est estimé à environ 200 espèces. Dans certains pays tels que l'Australie, la Chine et les Etats Unis, *Vicia sativa* représente une importance économique en tant que légumineuse fourragère pour l'alimentation de bétails, ainsi pour enrichir le sol en Azote via le système de rotation (Xi *et al.*, 2022).

1.7. Production de la vesce (*Vicia sativa*) en Algérie

En Algérie, la vesce se cultive depuis longtemps et rassemble des espèces autochtones et introduites, cette espèce est utilisée uniquement en coopération avec graminée fourragère (avoine, orge, triticales et seigle) (Mebarkia, 2010).

Selon les données de la Direction de Service Agricole (DSA), la production nationale de la vesce en 2018 et 2019 est estimée à 2602895 Qx, avec une superficie de 53628 ha, et un rendement annuel moyen de 48,5 Qx/ha. Le tableau suivant représente la production et les superficies de la vesce commune dans la Wilaya de Tissemsilt pendant les années 2018 à 2022.

Tableau 01 : La superficie et la production de la vesce dans la Wilaya de Tissemsilt (2018-2022) (DSA, 2023) :

	2018/2019	2019/2020	2020/2021	2021/2022
Superficies (Ha)	881	4946	3815	2580,5
Production(Qx)	28459	273251	147579	123079

2. Les PGPR (Plant Growth-Promoting Rhizobacteria)

Les rhizobactéries favorisant la croissance des plantes (PGPR) sont des bactéries bénéfiques isolées à partir des nodules racinaires des plantes et du sol rhizosphériques. Ces microorganismes ont la capacité de stimuler la croissance globale des plantes, la germination des graines, le développement des racines, la nutrition minérale et l'utilisation de l'eau. Ils peuvent également supprimer les maladies des plantes (Handelsman et Stabb, 1996 ; Siddiqui et Mahmoud, 1999 ; Berg *et al.*, 2002 ; Nelson, 2004)

D'après (Kloepper *et al.*, 1989), environ 2 à 5 % des rhizobactéries montrent un effet bénéfique sur le développement et la croissance des plantes, même en présence d'une microflore compétitive au niveau du sol. Ces bactéries appartiennent à différents genres, tels que *Pseudomonas*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Burkholderia*, *Bacillus* and *Serratia* (Kloepper et Bauchamp, 1992; Glick, 1995).

Les PGPR sont classées en deux groupes principaux (figure 02) ; et sont représentées comme iPGPR (intracellular Plant Growth Promoting Rhizobacteria) et ePGPR (extracellular Plant Growth Promoting Rhizobacteria) (Choudhury *et al.*, 2022).

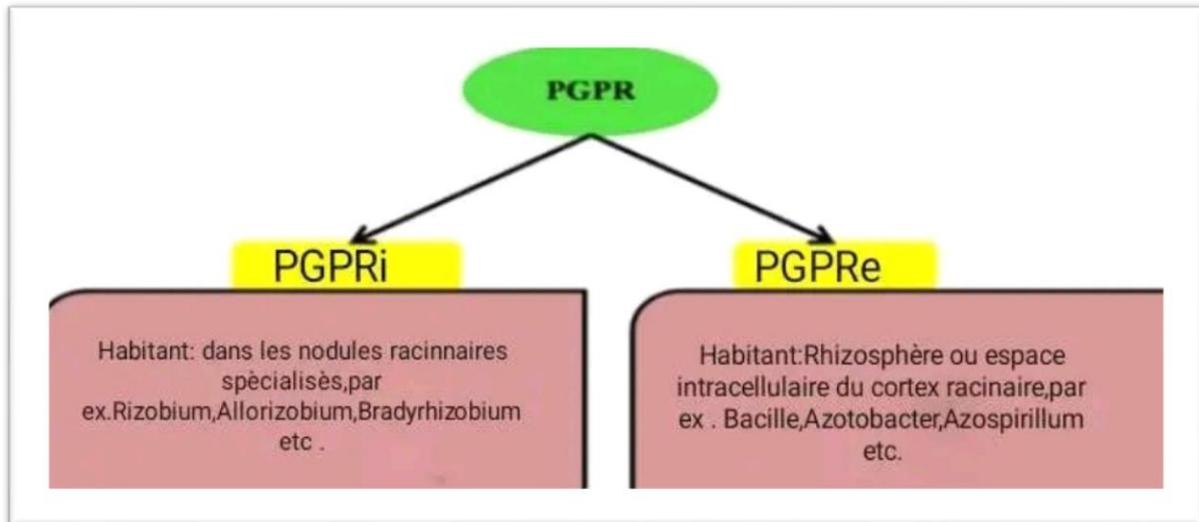


Figure 02: Les rhizobactéries intracellulaires (iPGPR) et extracellulaires (ePGPR) (Choudhury *et al.*, 2022)

2.1. Mécanismes d’action des PGPR

Il existe de nombreux mécanismes par lesquels les PGPR peuvent améliorer la croissance et le développement des plantes dans diverses conditions environnementales (Nihorimbere *et al.*, 2011) (figure 03). En général, les RPGP favorisent la croissance des plantes directement par leur capacité à fournir des nutriments (azote, phosphore et potassium) ou par la production des phytohormones. Les PGPR peuvent également favoriser indirectement la croissance des plantes en diminuant les effets inhibiteurs de divers pathogènes sur la croissance en tant qu'agents de biocontrôle (Gouda *et al.* 2018).

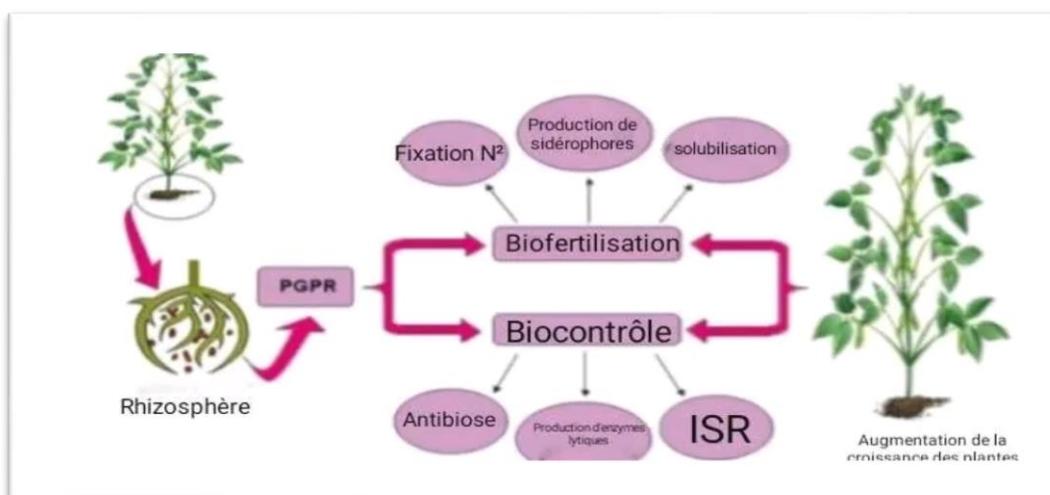


Figure 03: Promotion de la croissance des plantes par les PGPR (Khan *et al.*, 2009)

2.1.1. Les mécanismes directs

2.1.1.1. La fixation d'azote

La fixation microbienne de l'azote fait référence au processus de transformation du N₂ gazeux en NH₄⁺ (Stokstad, 2016). Les micro-organismes fixateurs d'azote constituent une flore microbienne fonctionnelle importante dans le sol des plantes, qui existe généralement dans l'écosystème de la rhizosphère des plantes et joue un rôle important dans la régulation de la nutrition azotée des plantes (Oldroyd et Leyser, 2020)

La réduction de l'azote est catalysée par un complexe enzymatique appelées nitrogénase (Nouwen *et al.*, 2017), cette réduction à l'état libre est peu efficace alors que l'association symbiotique entre les bactéries et certaines espèces végétales permet d'améliorer considérablement l'efficacité des plantes symbiotique (Diedhiou *et al.*, 2022).

Les microorganismes fixateurs d'azote sont généralement classés en bactéries symbiotiques, y comprise les membres de la famille *rhizobiacées* qui forment une symbiose avec légumineuses, et non symbiotiques vivant à l'état libre, associatif et endophytes (Ahmed et Khan, 2012 ; Zahran, 2001). Parmi les bactéries fixatrices d'azote libres dans la rhizosphère citant : *Achromobacter*, *Acetobacter*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Clostridium*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Pseudomonas*, *Rhodopseudomonas* et *xanthobacter* (Tilak *et al.*, 2005)

2.1.1.2. Solubilisation de phosphore

Le phosphore est l'un des principaux facteur limitant après l'azote dans les besoins des plantes (Sivasakthi *et al.*, 2014), cet élément est présent naturellement dans les composés organiques (Po) avec une moyenne de 50% et inorganique (Pi) à 50% ; où les deux composés sont peu solubles (généralement pas plus de 5%) et ne peuvent donc pas être absorbé par les racines (Shen *et al.*, 2011 ; Liang *et al.*, 2019) D'après (Chen *et al.*, 2006), Les bactéries solubilisatrices du phosphate sont les principaux convertisseurs de la forme insoluble du en forme soluble, et le rendent utilisable par les plantes.

2.1.1.3. Solubilisation de potassium

Le potassium (K) est un macronutriment essentiel pour la croissance, le métabolisme et le développement des plantes. (Parmar et Sindhu, 2013), les concentrations de potassium soluble dans le sol sont généralement très faibles et plus de 90% de cet élément est sous forme insoluble (minéraux silicatés) (Parmar et Sindhu, 2013). Il a été rapporté que les PGPR sont

capables de solubiliser les roches potassiques par la production et la sécrétion d'acides organiques (Han et Lee, 2006). Selon Liu et *al.*, 2012, les PGPR tels que, *Acidithiobacillus Ferrooxidans*, *Bacillus*, *Burkholderia* et *Pseudomonas Sp.* libèrent du K sous une forme disponible pour les plantes à partir des minéraux du sol contenant du potassium.

2.1.1.4. Production de sidérophores

Les sidérophores jouent un rôle important dans le biocontrôle des maladies des plantes transmises par le sol et dans la nutrition en fer des plantes (Loper et Buer, 1991). Les sidérophores sont des chélateurs du fer de faible poids moléculaire et de haute affinité qui transportent le fer dans les cellules bactériennes (Leong, 1986). Ce sont les agents complexant les ions ferriques les plus puissants. Actuellement, plus de 500 sidérophores connus sont produits par les plantes et les microorganismes dont les PGPR.

2.1.1.5. Production des phytohormones

Il a été démontré que certaines bactéries stimulaient la croissance des plantes (Plant Growth Promoting Rhizobacteria PGPR) et sont capables de favoriser la croissance végétale, et induire une tolérance des plantes à un certain nombre de stress biotiques et abiotiques via la production de phytohormones. Les phytohormones les plus courantes produites par les PGPR sont les auxines, les cytokinines, les gibbérellines et l'éthylène dans une moindre mesure, les auxines étant les mieux caractérisées (figure 04) (Richardson *et al.*, 2009).

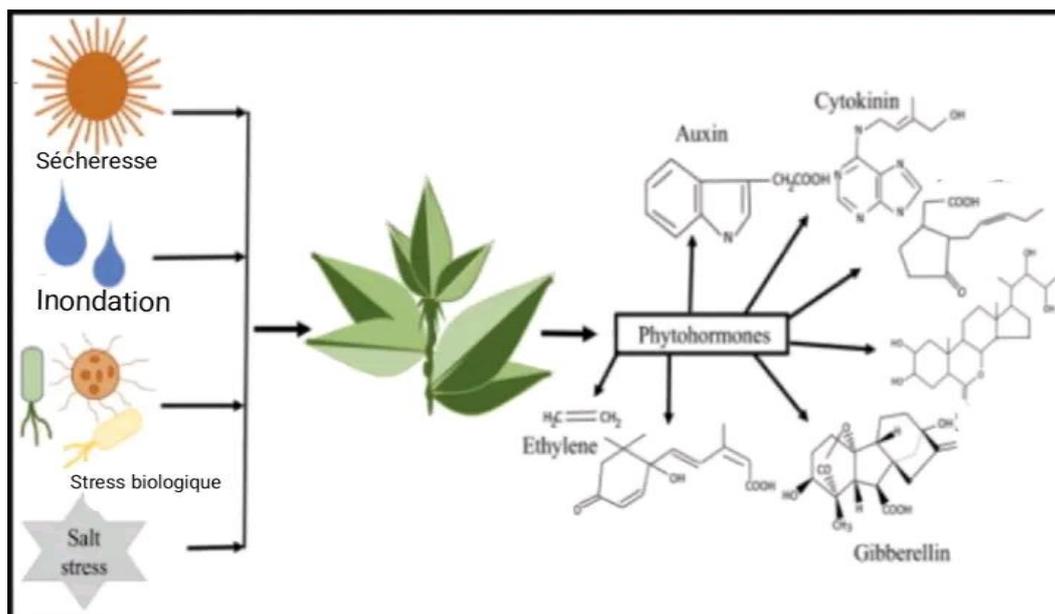


Figure 04: Gestion du stress biotique, abiotique à médiation phytohormonale (Chhaya *et al.*, 2020).

2.1.2. Les mécanismes indirects

Les mécanismes qui favorisent indirectement la croissance des plantes neutralisent les effets néfastes des pathogènes (Kundan et al., 2015). Les bactéries qui réalisent cela peuvent produire des antibiotiques (Suarez-Moreno et al., 2019) ou des enzymes lytiques qui dégradent la paroi cellulaire. En plus de produire ces substances nocives pour les phytopathogènes, les PGPR peuvent agir en leur disputant les mêmes nutriments et les mêmes sites de colonisation des racines (Barahona et al., 2011 ; Tsegaye et al., 2019) en réduisant la prolifération des pathogènes ou même en produisant de petites quantités de cyanure d'hydrogène (HCN) (Olanrewajuet et al., 2017).

2.1.2.1. Production des antibiotiques

La protection des plantes est une fonction vitale des PGPR. La synthèse d'antibiotiques tels que la pantocine, l'oomycine, etc., qui est la méthode principale des PGPR, agit comme agent de biocontrôle. *Pseudomonas*, *Bacillus* et *Rhizobium* sont les principales souches de PGPR identifiées. Les antibiotiques déclenchent l'introduction de gènes de résistance systémique (ISR) dans les plantes cultivées par le biais d'une action antipathogène directe. La gestion des maladies des plantes est donc la principale fonction des antibiotiques (Fernando et al., 2005).

Il est à noter que de nombreuses souches peuvent produire des séries d'antibiotiques secondaires et que les conditions favorables à la production d'un composé antibiotique sont probablement défavorables à la production d'un autre (Santoyo et al., 2021) Ceci étant, il est important que les assemblages de diverses souches de PGPR offrent un degré plus élevé de flexibilité et d'efficacité de biocontrôle pour les antagonistes, en particulier lorsque les PGPR sont confrontées à des conditions hétérogènes ou changeantes (Wang et al., 2021)

2.1.2.2. Production de cyanure d'hydrogène (HCN)

Les rhizobactéries nuisibles peuvent servir d'agents de biocontrôle des mauvaises herbes. Elles colonisent les surfaces des racines des plantes et suppriment leur croissance. Les cyanures sont toxiques et sont produits par de nombreux microorganismes, notamment des bactéries, des algues, des champignons et des plantes (Rehman et al., 2020).

L'hydrolyse du composé cyanogène et la biosynthèse de l'éthylène sont des voies courantes de production de cyanure pour les plantes. Les plantes en détoxifient la plus grande partie grâce à une enzyme spéciale, la cyno alanine. Dans le système agricole, l'HCN est

couramment utilisé comme agent de biocontrôle et c'est également un bon chélateur de métaux. L'HCN est utilisé comme biofertilisant dans la croissance du mouvement, l'amélioration du rendement et le contrôle des maladies de la tomate. De nombreux genres bactériens tels qu'*Aeromonas*, *Pseudomonas*, *Bacillus* et *Enterobacter* isolés de la rhizosphère de la tomate se sont révélés capables de libérer de l'HCN (Mekonnen et Kibret, 2021).

2.1.2.3. Résistance systématique induite (RSI)

La résistance induite peut être définie comme étant, dans un état physiologique de défense, la potentialisation induite des réponses à des stimuli environnementaux spécifiques. Les défenses innées des plantes renforcent ainsi la résistance à des défis biologiques ultérieurs. Les PGPR activent de manière systémique le mécanisme de défense latent de la plante et améliorent ainsi sa résistance vis-à-vis les agents pathogènes (maladies fongiques, bactériennes et virales - dans certains cas, même les dommages causés par les insectes), ce que l'on appelle la résistance systémique induite (RSI) (Murthy et al., 2014 ; Kannoja et al., 2019).

2.1.2.4. Production d'enzymes lytiques

Certaines souches de PGPR ont la capacité de dégrader les parois cellulaires fongiques par la production d'enzymes hydrolytiques telles que les chitinases, les déshydrogénases, les B-glucanases, les lipases, les phosphatases, les protéases, les hydrolases, les exo et endo-polygalacturonases, les pectines lysées et les cellulases (Joshi *et al.*, 2012 ; Whipps, 2001). Diverses souches de *Pseudomonas* ont montré une activité antifongique in vitro contre trois champignons zoospores (Sharma et al., 2009).

2.1.2.5. La compétition pour l'espèce et les nutriments

Les PGPR entrent souvent en compétition avec de nombreux microorganismes nuisibles pour l'absorption des nutriments. Ces nutriments sont présents à l'état de traces et peuvent donc limiter les agents pathogènes (Martinez-Viveros et al., 2010). Lorsque les PGPR sont présents en abondance dans le sol, ils colonisent rapidement les surfaces des plantes et utilisent également les nutriments disponibles. Cette utilisation des nutriments inhibe la croissance des agents pathogènes. La compétition pour les nutriments entre les PGPR et les pathogènes est l'une des interactions importantes qui soutient indirectement la croissance des plantes en inhibant la croissance des microorganismes délétères (Nelson, 2004).

3. La symbiose *rhizobium*-légumineuse

La symbiose entre les Bactéries fixatrices d'azote et les légumineuses hôtes est l'un des sujets les plus étudiés, et son origine a été d'intérêt depuis sa découverte il y a plus de 100 ans (Quispel, 1988). Cette association est à bénéfice réciproque permettre aux bactéries de profiter d'un micro-habitat exceptionnellement favorable, les légumineuses leur parcourant un apport en substrats carbonés issus de la photosynthèse. En échange, les bactéries vont fixer et réduire l'azote atmosphérique en forme assimilable par les plantes hôtes (Broughton *et al.*, 2003).

3. 1. Spécificité symbiotique

Bien que de multiples interactions existent entre les plantes et les micro-organismes, seules quelques espèces sont capables d'initier avec succès le processus de fixation symbiotique de l'azote (Berger,2019)ce qui explique que cette interaction est spécifique et chaque souche rhizobienne peut noduler un ensemble défini de légumineuses (connu sous le nom de spectre d'hôtes)(Pool *et al.*, 2018; Downie,2010).

3.2. Intérêt de la symbiose

L'interaction symbiotique est susceptible de réduire l'utilisation d'engrais chimique dans l'agriculture, présentant ainsi un avantage économique, sociale et environnemental crucial (Diedhiou *et al.*, 2022). Certains microorganismes symbiotiques importants ont été identifiés pour réduire l'incidence des maladies des plantes et favoriser le taux d'utilisation des nutriments dans les plantes hôtes (Smith et Smith,2011;Hu *et al.*,2020).

3 .3. Facteurs influençant la symbiose *Rhizobium*-légumineuse

Des facteurs tels que la composition du sol, la teneur en eau, la température et le pH peuvent également influencer la croissance des plantes et le developpement des microorganismes symbiotiques (Marshner,1991; Rojas *et al.*,2005), ainsi que la formation de nodules (Evans *et al.*, 1990;Wolff *et al.*, 1993). En effet, l'acidité du sol est seule responsable des pertes importantes de la production de légumineuses mondiales, résultant d'une croissance des plantes et des Rhizobia altérées, et par conséquent l'établissement symbiotique et de la fixation biologique de l'azote (Ferguson *et al.*, 2013).

3. 4. La nodulation

Le nodule est le résultat d'une interaction hautement spécifique entre les légumineuses et les Rhizobia (Liu et Murray, 2016). La formation de nodules dépend des signaux et les déterminants de surface produits par les deux partenaires symbiotiques (Stahelin et Krishhnani, 2015) les légumineuses limitent également le nombre de nodules formés, équilibrant ainsi le taux global de N-fixation avec la croissance des plantes. Ces nodules sont des organes spécialisés de 2 à 5 mm de diamètre qui se forment généralement sur les racines. Chaque nodule peut contenir jusqu'à 10^9 rhizobiums dans une niche parfaitement adaptée pour la réduction de N_2 en fournissant un apport de carbone (sous forme de malate) sur les bactéries et un environnement de faible activité de $l'O_2$ (Downie, 2014).

3.4.1. Les étapes de la nodulation

a. Pré-infection

Les Rhizobia sont attirés vers les poils racinaires par une large gamme de substances de type flavonoïdes et iso flavonoïdes, principalement par les phénylpropanoïdes exsudés par la racine (Kape *et al.*, 1991). Une production plus importante de ces composés est observée en condition de carence azotée (Coronado *et al.*, 1995).

Les flavonoïdes présents dans les exsudats racinaires induisent l'expression des gènes Nod bactériens qui gouvernent la production des facteurs Nod, des lipochitoooligosaccharides (Perret *et al.*, 2000).

Les facteurs Nod induisent des événements morphologiques, physiologiques et moléculaires chez la plante hôte ; La déformation du poil racinaire est observée environ 12 à 24 heures ; les poils absorbants changent leur direction de croissance et forment une structure en crosse de berger, courbés, renflés, entrelacés, déformés, branchés ou joints qui enferme les *Rhizobium* (Wais *et al.*, 2002).

b. Phase d'infection et de formation des nodules

L'infection consiste à la pénétration des Rhizobia en différents points du système racinaire, après avoir pénétré dans les poils absorbants (figure 06), les bactéries sont entourées par un filament d'infection (Hopkins, 1999). Un méristème nodulaire est donc à former dans la racine pendant que les Rhizobia entrent à travers le filament formé pour faciliter l'entrée du Rhizobia aux couches les plus profondes. Le cordon (filament) d'infection poursuit sa

progression en se ramifiant et déverse les bactéries dans les cellules du méristème nodulaire (Franche *et al.*, 2009).

c. Maturité du nodule

Le stade final du processus infectieux est atteint lorsque les bactéries sont déversées dans la cellule hôte. Les Rhizobia se libèrent du filament d'infection et sont enveloppées dans une membrane dérivée de la plante, appelé symbiosome (Franche *et al.*, 2009). Les bactéries finalement arrêtent de se diviser et se transforment en bactéroïdes entourés d'une membrane, nommée membrane pér bactéroïdienne qui a pour rôle de stabiliser le système hôte/bactéroïde ; si elle est endommagée, les bactéries vont se libérer dans le cytoplasme et considérées comme des corps étrangers et donc détruits par la cellule hôte (Jordan 1982 ; Franche *et al.*, 2009).

D'autres mécanismes d'infection sont aussi décrits tel que : l'infection par *crack entry* et la pénétration entre cellules épidermiques (Franche *et al.*, 2009).

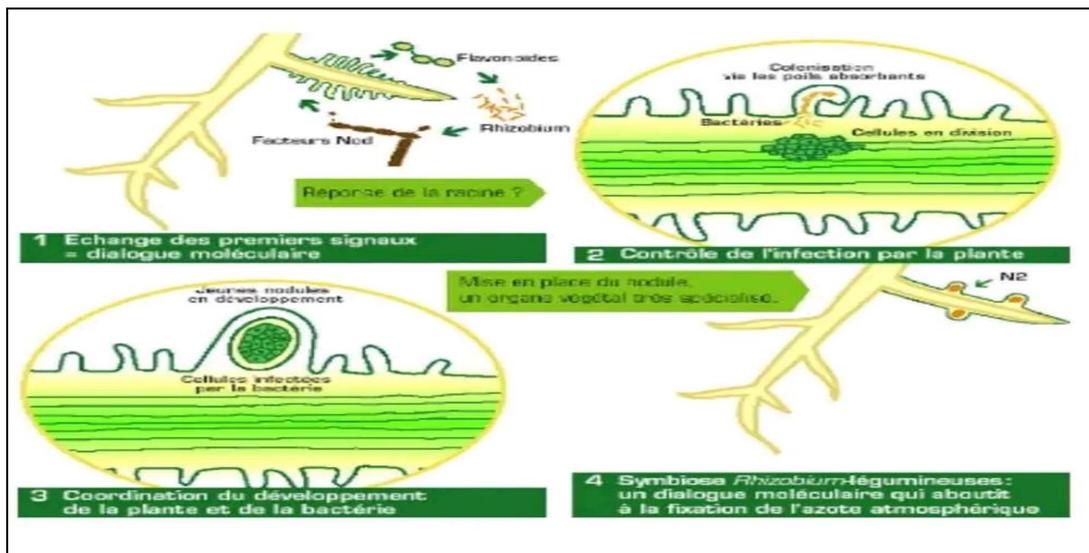


Figure 05: Les étapes de la nodulation (Fitouri, 2011)

3.4.2. Types de nodules

Les nodules induits par les *Rhizobiums* sont de deux types généraux, déterminé et indéterminé (figure 06) selon leur mode de développement. Contrairement aux nodules indéterminés, qui ont un méristème apical persistant qui produit souvent un structure nodulaire cylindrique ou ramifiée, la forme nodule déterminée n'a pas de méristème actif et a donc un aspect assez différent la forme et la structure du nodule indéterminé. Les espèces

Vicia (vesces) sont historiquement utilisés comme modèles pour étudier les formations des nodules indéterminés (Gage *et al.*, 2004 ; Puppo *et al.*, 2004).

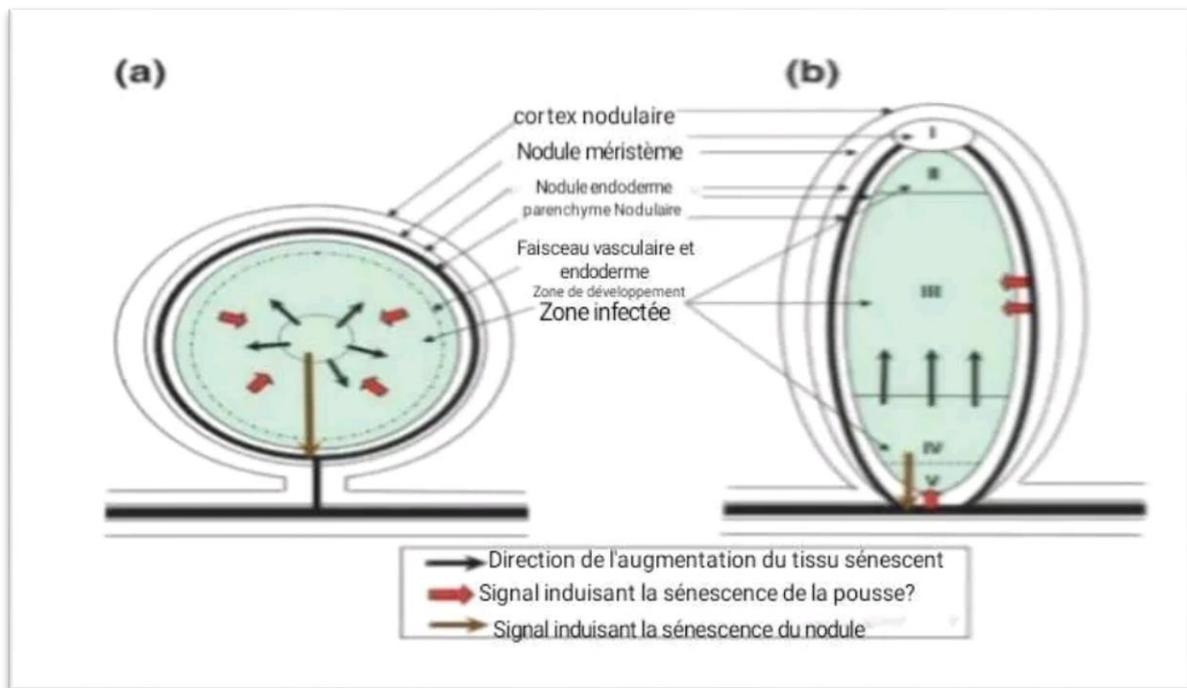


Figure 06: Une représentation schématique de la structure des nodules déterminés (a) et indéterminé (b)(Puppo *et al.*, 2004).

Matériel et Méthodes

1. Matériel végétal et la mise en place de l'essai

L'essai a été conduit en plein champ durant la campagne agricole 2022/2023 d'un terrain agricole réservé pour la culture de la vesce (*Vicia sativa* L), les grains sont fournis par l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) De Sebain Tiaret (Algérie), variété de Serva semence ordinaire (figure 07), dans la commune d'Amari wilaya de Tissemsilt, dont les coordonnées GPS ont été prises ($35^{\circ} 36' 18'' \text{N } 1^{\circ} 38' 22'' \text{E}$) (figure 08).



Figure 07 : Les grains de la vesce commune (*Vicia sativa* L) utilisée dans l'expérience



Figure 08 : Image satellite de site expérimental

(Google earth, 2023).

1.1. Echantillonnage de sol

Les analyses physico-chimiques de sol (granulométriques) et chimiques (carbone, pH, conductivité, matière organique, Azote, phosphore,) ont été effectuées dans l'Institut

Supérieur National Agronomique d'Alger. Ces analyses physico-chimiques permettant d'étudier la fertilité du sol utilisé dans l'expérience.

2. Les souches bactériennes

Les souches utilisées lors de cette expérience obtenues de la collection de laboratoire de département de Sciences de la Nature et de la Vie, Université de Tissemsilt, les isolats bactériens ont été isolées directement par la technique de dilution (Annexe1) à partir du sol rhizosphérique de la fève (*Vicia faba*).

2.1. Vérification de la pureté des souches

Les souches testées sont repiquées successivement par la méthode d'épuisement sur Gélose nutritive (Annexe 02), les boîtes de Pétri sont par la suite incubées à 28°C pendant 48h à 72h (Vincent, 1970). L'opération est répétée plusieurs fois jusqu'à l'apparition de colonies identiques et isolées.

2.1.1. Etude macroscopique

L'étude macroscopique consiste à déterminer les caractères morphologiques des colonies, tels que la couleur, la taille, la forme générale, la viscosité, le contour.

2.1.2. Etude microscopique

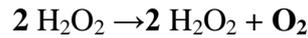
L'observation microscopique permet de déterminer le Gram, la morphologie et la pureté des souches après une coloration de Gram. Cette technique est introduite par Hans Christian Gramme à 1884. Les cellules sont fixées à la flamme afin de préparer un frotti. Ensuite le violet de Gentiane est ajouté (20 sec). Le colorant et par la suite fixé à l'aide du Lugol. La préparation est abondamment rincée à l'eau du robinet afin d'éliminer l'excès de colorant. La préparation est décolorée (l'éthanol à 95° pendant 5 sec) et rincée de nouveau abondamment à l'eau de robinet. Puis, une recoloration avec de la Fushine acide est réalisée (30 sec). De nouveau, la préparation est rincée à l'eau et séchée à une température ambiante.

Les lames par la suite, sont observées sous microscope a un grossissement (X 1000), une goutte d'huile d'immersion est ajoutée au-dessus de la lame pour déterminer le type de la bactérie: si les cellules sont colorées en violet (Gram positives) ou bien en rose (Gram négative).

2.2. Etude des enzymes respiratoires

2.2.1. Test de catalase

L'enzyme catalase sert à neutraliser les effets bactéricides du peroxyde d'hydrogène. La catalase accélère la panne de l'hydro-peroxyde (H_2O_2) dans de l'eau et de l'oxygène, cette réaction est évidente par la formation rapide de bulles (Renier, 2010).



Sur une lame propre déposer une goutte d'eau oxygénée, puis à l'aide d'une pipette pasteur ajouter une colonie bactérienne. L'apparition de bulles indique que la réaction est positive.

2.2.2. Test d'oxydase

Le test d'oxydase est une réaction biochimique qui teste la présence de cytochrome oxydase, une enzyme parfois appelée indophénol oxydase. En présence d'un organisme contenant l'enzyme de cytochrome oxydase, le réactif incolore réduit devient produit de couleur oxydé. (Shields et Cathcart, 2010).

Sur une lame propre, déposer un disque d'oxydase à l'aide d'une pince stérile, puis déposer une suspension bactérienne en contact directe avec le disque. L'apparition d'une couleur violacé au bout de 10 secondes indique que la réaction est positive.

3. Identification biochimique par les Galeries API 20 NE

La culture de l'inoculum Mc Farland 0,5 sur la galerie API® 20NE (Bio Mérieux, France)(figure 09)a été exécutée pour l'identification biochimique. Le principe est basé sur l'inoculum des microtubules avec une suspension qui réhydrate les milieux. L'incubation est à 27 °C à l'étuve pendant 24 heures au cours duquel se déroulent les réactions biochimiques (décarboxylation, fermentation, désamination) qui se traduisent par des produits colorés spontanés révélés par addition des réactifs (Ndoutamia *et al.*,2014).La lecture se fait à l'aide du tableau de lecture (annexe 03).

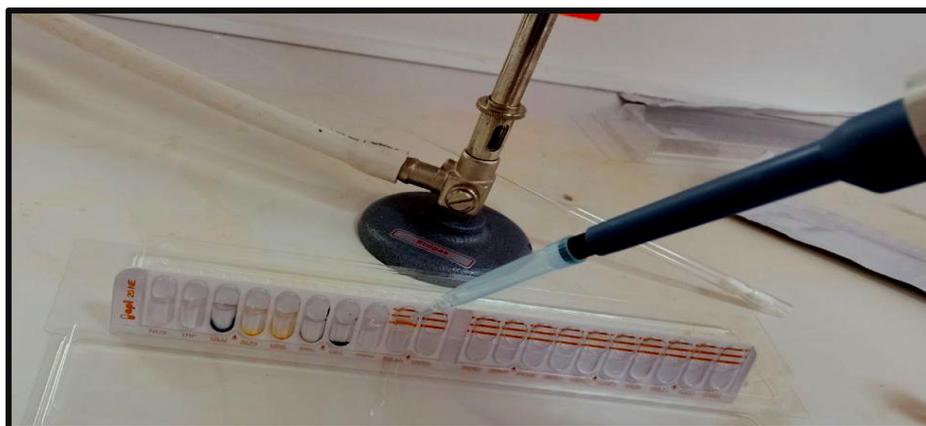


Figure 09 : Ensemencement de la galerie API 20NE

4. Recherche de la sensibilité aux antibiotiques

Un test de sensibilité aux antimicrobiens par la méthode de diffusion sur disque a été effectué (CASFM, 2014). Les boîtes de pétri contenant la gélose Mueller-Hinton (annexe 4) ont été ensemencées par une suspension bactérienne standardisé (Mc Farland 0,5) (annexe 5) à tester, ensuite les disques d'antibiotiques ont déposés sur la gélose aseptiquement (figure 10). Les boîtes par la suite ont été incubées à 37°C pendant 24h. La lecture du diamètre anti-sensibilité d'antibiotique à été effectuée selon les recommandations du comité de l'antibiogramme de la société française de microbiologie (CASFM, 2014) de chaque antibiotique. Quatre antibiotiques ont été utilisés : Tétracycline, Ciprofloxacine, Gentamicine, Amoxicilin (tableau 02).

Tableau 02 : Diamètres critiques pour les antibiotiques utilisés selon les recommandations du comité de l'antibiogramme de la société française de microbiologie(2018)

Antibiotique	Charge du disque (μg)	Diamètre critique (\emptyset)(mm)		
		R	S	I
Tétracycline	30	≥ 19	≤ 17	$17 \leq \emptyset \leq 19$
Ciprofloxacine	5	≥ 24	≤ 26	$24 \leq \emptyset \leq 26$
Gentamicine	10	≥ 14	≤ 17	$14 \leq \emptyset \leq 17$
Amoxicilin	20	≥ 19	≤ 19	$19 \leq \emptyset \leq 19$

R : Résistante **S** : Sensible **I** : Sensibilité intermédiaire

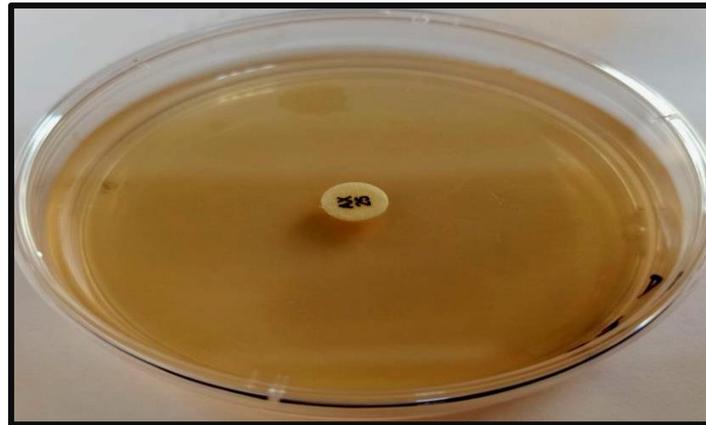


Figure 10: Diffusion de disque d'antibiotique sur la gélose Mueller-Hinton

5. Conservation des souches

Les souches sont repiquées sur gélose inclinée, puis incubées à 30°C pendant 24h (figure 11). Chaque tube doit être étiqueté, puis conservé au réfrigérateur à 4°C. Ce type de conservation et de courte durée (ne dépasse pas les 6 mois).



Figure 11: Conservation des souches

6. Inoculation des plantules de la vesce commune (*Vicia sativa* L)

L'action des PGPR sur la croissance des plantes a été prouvée par plusieurs chercheurs (Macking, 2007). Cette expérience nous permet d'évaluer l'effet des bactéries isolées sur le développement et la croissance de vesce (*Vicia sativa* L). Comme il a été décrit précédemment, l'essai a été conduit en plein champ, l'inoculation consiste en huit traitements répétés six fois, y compris: les souches isolées (B1, B2, B4, S3, S5, S6, S7, S8) et un témoin sans inoculation, en comparant la turbidité du milieu ensemencé avec celle de McFarland 0,5,

après chaque plant est inoculé par 1ml d'une suspension liquide de chaque souche à une concentration de 10^8 (UFC) ml^{-1} (Valverde *et al.*, 2006) (figure 12), L'irrigation des plantes a été effectuée une fois par deux jours.



Figure12: Mise en place de l'essai

Les plantes doivent être déterrées quand des différences très nettes sont visibles entre les plantes. Les nodules formés au niveau des racines, ont été détachés et comptés afin d'estimer le pouvoir symbiotique, puis conservés sec dans des tubes contenant du CaCl_2 (Vincent, 1970). L'efficacité des souches est également estimée par la comparaison de nombre de nodules formés, la longueur racinaire et aérienne, ainsi le poids frais et sec des plantes inoculée avec les témoins non inoculés (le poids sec est mesuré après séchage des plantes 24 h à 70°C).

7. Etude statistique

L'analyse statistique a été réalisée en utilisant le logiciel IBM SPSS statistics (version 20). Analyse de la variance à un facteur (effet souche sur le nombre de nodules formés ; effet souche sur la croissance – longueur racinaire et aérienne, poids frais et sec des plantes), le seuil de la probabilité utilisé pour déterminer la significativité est $P \leq 0.05$.

Résultats et Discussion

1. Les souches bactériennes

1.1. Etude macroscopique

Après 24 à 48h d'incubation à 28°C, les souches sélectionnées sont apparues sur la gélose nutritive avec des caractéristiques similaires, la plupart des colonies étaient rondes de taille, couleur, consistance et relief variés (figure 13) (Tableau 03).



Figure13:Aspect macroscopique de la souche B1

Tableau 03:Aspect macroscopique des souches sélectionnées

Souches	Couleur	Aspect	Relief	Forme
B1	Jaune	Lisse	Plat	Circulaire
B2	Beige	Lisse	Demi-bombée	Circulaire
B4	Beige	Lisse	Plat	Circulaire
S3	Beige	Lisse	Plat	Circulaire
S5	Beige	Lisse	Plat	Circulaire
S6	Beige	Lisse	Plat	Circulaire
S7	Beige	Lisse	Demi-bombée	Circulaire
S8	Beige	Lisse	Demi-bombée	Circulaire

1.2. Etude microscopique

L'examen microscopique permet de révéler l'affiliation positive ou négative des cellules bactériennes selon la structure de leur paroi, gram positive (couche épaisse de peptidoglycane), et les bactéries Gram négatives (couche fine de peptidoglycane surmontée d'une membrane externe), l'examen permet également de déterminer la morphologie des souches (Tournus, 2017). Les résultats montrent que les souches sélectionnées sont des bacilles dispersés ou en chaînettes et de couleur rose (Gram négatif) (figure 14).

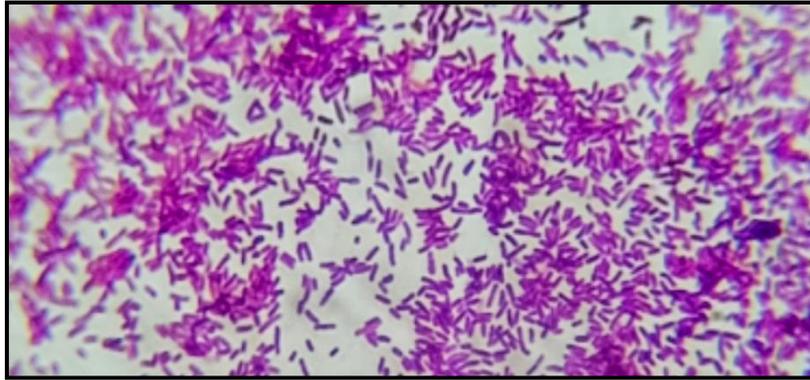


Figure14:Aspect microscopique de la souche B4 après coloration de gram
(Grossissement $\times 1000$)

3. Etude des enzymes respiratoire

3.1. Test de catalase

Les résultats obtenus ont montré que les souches sélectionnés ayant un catalase positive (figure 15) ; ce qui explique qu'elles possèdent l'enzyme de la catalase qui accélère la décomposition de peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) en eau (H_2O) et en oxygène (O_2) (Larpen et Larpen-Gourgaud, 1985).

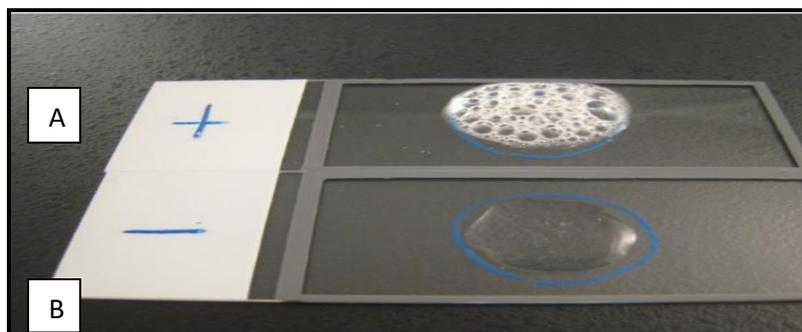


Figure15 : Mise en évidence de l'activité de la catalase : A : positive B : négative

3.2. Test d'oxydase

L'apparition d'une couleur violacé au bout de 10 secondes indique que la réaction est positive. Les résultats obtenus montrent que les souches testées sont oxydase positif, donc elles possèdent l'enzyme respiratoire (cytochrome oxydase) (figure 16).

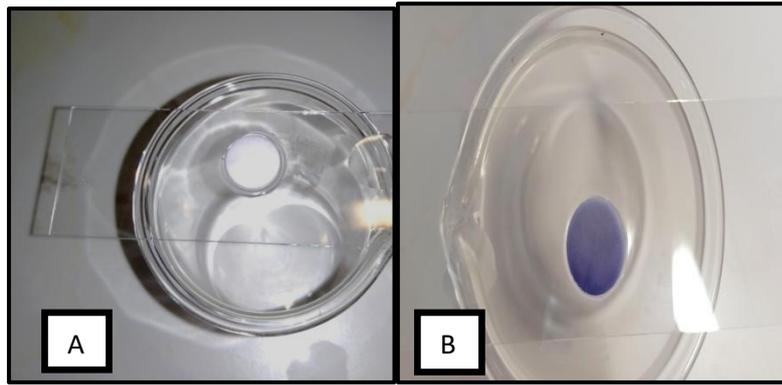


Figure 16 : Mise en évidence de l’activité de l’oxydase

A : négatif B : positif

4. Identification des souches par la Galerie API 20 NE

La caractérisation biochimique des isolats a été testée en utilisant les galeries API (API 20NE BioMérieux France), c’est un système standardisé pour l’identification des bacilles à Gram négatif non entérobactéries et non fastidieux combinant 8 tests conventionnels et 12 tests d’assimilation (figure 17). L’identification se réalise par la suite grâce à un catalogue analytique, ou un logiciel d’identification (APIWEB™) (tableau 05).



Figure 17: Galerie API 20NE ensemencée par la souche S5 après 24h d’incubation

Tableau 04: Les caractéristiques des souches identifiées

Code	Souches	Gram	Test de catalase	Test Oxydase
B1	<i>Sphingomonas paucimobilis</i>	-	+	+
B2	<i>Pseudomonas fluorescent</i>	-	+	+
B4	<i>Pseudomonas luteola</i>	-	+	+
S3	<i>Rhizobium radiobacter</i>	-	+	+
S5	<i>Rhizobium radiobacter</i>	-	+	+
S6	<i>Pseudomonas fluorescent</i>	-	+	+
S7	<i>Pseudomonas luteola</i>	-	+	+
S8	<i>Sphingomonas paucimobilis</i>	-	+	+

5. Antibiogramme

Sur les mêmes souches testées, un test de résistance à l'antibiotique a été réalisé par la diffusion des disques sur la gélose Mueller Hinton (figure 18). Les diamètres d'inhibition autour des disques sont mesurés, une souche bactérienne est considérée comme résistante si le diamètre de la zone d'inhibition est supérieur ou égal des diamètres indiqués pour chaque antibiotique selon les recommandations du comité de l'antibiogramme de la société française de microbiologie (CASFM, 2014).

Les souches de PGPR sélectionnées sont révélées résistantes à tous les antibiotiques testés (Tétracycline, Ciprofloxacine, Amoxiciline) sauf à la Gentamicine (tableau 05). Les résultats obtenus ne sont pas en accord avec les études de Chaibdraa *et al.*, (2008), où ils ont prouvé la sensibilité de genre *Pseudomonas* vis-à-vis Tétracycline et Ciprofloxacine. D'un autre côté, la résistance des souches étudiées vis-à-vis l'amoxiciline a été prouvée par Zhou *et al.*, (2015), surtout pour la souche *Pseudomonas fluorescens*. La sensibilité des souches de *Pseudomonas* aux antibiotiques y compris la gentamicine a été également testée *in vitro* par Foyal *et al.*, (2011).

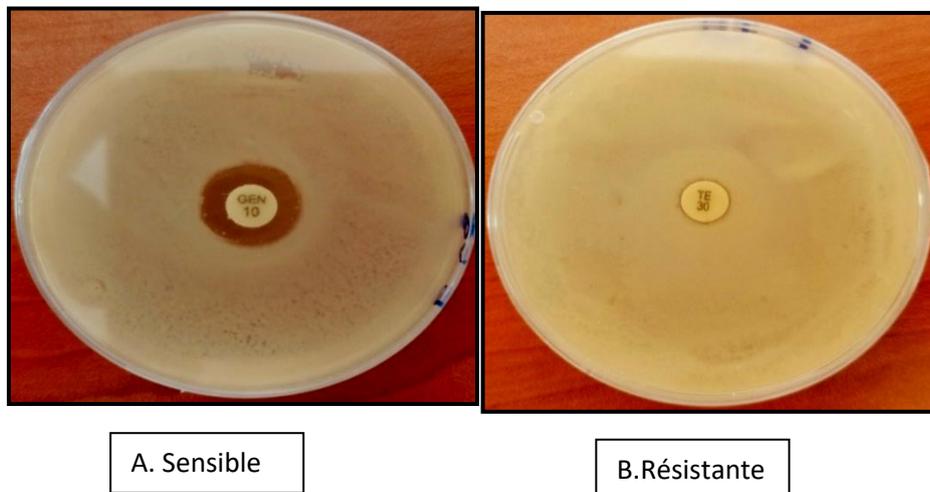


Figure 18: Mise en évidence de l'antibiogramme

A. Bactérie sensible au Gentamicine B. Bactérie résistante au Tétracycline

Tableau 05: Résistance de souches aux antibiotiques

Code	Souche	Tétracycline	Ciprofloxacine	Gentamicine	Amoxicilin
B1	<i>Sphingomonas paucimobilis</i>	R	R	S	R
B2	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	R	R	S	R
B4	<i>Pseudomonas luteola</i>	R	R	S	R
S3	<i>Rhizobium radiobacter</i>	R	R	S	R
S5	<i>Rhizobium radiobacter</i>	R	R	S	R
S6	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	R	R	S	R
S7	<i>Pseudomonas luteola</i>	R	R	S	R
S8	<i>Sphingomonas paucimobilis</i>	R	R	S	R

R : résistante **S** : sensible

6. Inoculation des plantules de la vesce commune (*Vicia sativa* L)

Environ 2 à 5 % des rhizobactéries montrent un effet bénéfique sur le développement et la croissance des plantes, même en présence d'une microflore compétitive au niveau du sol (Barnak *et al.*, 2011). L'action de ces sur la croissance des plantes peut être directe ou indirecte, via production des métabolites qui améliorent le développement (Spaepen *et al.*, 2007), et l'élimination des agents pathogènes par le développement de système de défense (Glick, 2012).

Un test d'inoculation de souches à effet PGPR a été effectuée sur champ nous permettrait d'évaluer l'effet d'un apport d'inoculum de chaque souche testée sur la croissance de la Vesce (*Vicia sativa*). Ce test nous a permis de sélectionner l'inoculum le plus performant, et d'estimer leur effet l'établissement de la symbiose.

6.1. Analyse physico-chimique du sol

L'ensemble des paramètres physico-chimiques a été inclus dans le (tableau 06) ces analyses permettant d'estimer la fertilité naturelle de sol (Soltner, 2005), et d'étudier la relation entre la présence, l'absence et l'abondance des bactéries fixatrices d'azote et les PGPR. Les résultats montrent que le sol testé est un sol argilo-limono-sableux d'après le Triangle de texture (annexe 06), pauvre en phosphore, et adéquat en azote, légèrement salé, à un pH neutre (8,02), c'est un sol pauvre en matière organique (annexe 07), d'après Robert 1996, c'est un indice de sa faible fertilité et ne favorise pas les activités microbiennes.

Tableau 06: Les analyses physico-chimique du sol échantillonné

Granulométrie	Calcaire total (%)	pH	CE 1/5 (mmohs/cm)	N (%)	P (ppm)	Carbone organique (%)	Matière organique (%)	Rapport C/N
Argiles (%) 23,14 Limons fins (%) 16,4 Limons grossiers (%) 21,9 Sables fins (%) 38,3 Sables grossiers (%) 0,94	0,33	7,6	0,57	0,16	79,8 Ppm	0,822	1,417	5,137

CE : Conductivité Electrique N : Azote totale P : Phosphate

6. 2. Effet souche sur le nombre de nodules formés

Le pouvoir symbiotique est estimé par le nombre de nodules former au niveau des racines de plantes, lors de cette étude, aucun nodule a été enregistré sur les racines de la Vesce (*Vicia sativa*) (figure 19), et par conséquent l'inoculation des souches a effet PGPR testées n'a pas renforcé l'établissement de la relation symbiotique attendue.

L'échec de la nodulation peut être dû à la présence d'une faible population rhizobienne native principalement ineficace et inefficace, qui permettra l'établissement d'une relation symbiotique. La faible fertilité du sol, peut être aussi à l'origine de tel résultat, car le faible taux en matière organique (annexe 07) conduit a une faible activité microbienne d'après Robert, (1996).

D'après Zahran, (1999), divers facteurs environnementaux tels que l'acidité, la salinité, l'alcalinité, la sécheresse, les métaux lourds et les hydrocarbures, les températures extrêmes, des déficits en nutriments en des effets négatif a tous les stades menant à l'établissement de la symbiose. Lors de cette étude, les facteurs défavorables du milieu semblent influencer sur les processus symbiotique, tels que les propriétés physiques et chimiques du sol (argilo-limono-sableux, la salinité,...) (annexe 08) (O'hara *et al.*, 1988), selon Fatou, (2002), la quantité d'azote fixé par les bactéries symbiotiques est fortement limitée par la carence du sol en P (annexe 09).

D'un autre coté, il est bien connu que l'utilisation des engrais chimiques limite le processus symbiotique (de Lajeudie, 2004), et d'après la prospection effectuée, le champ utilisé est traité par le NPK, ce qui explique l'absence totale de la nodulation.

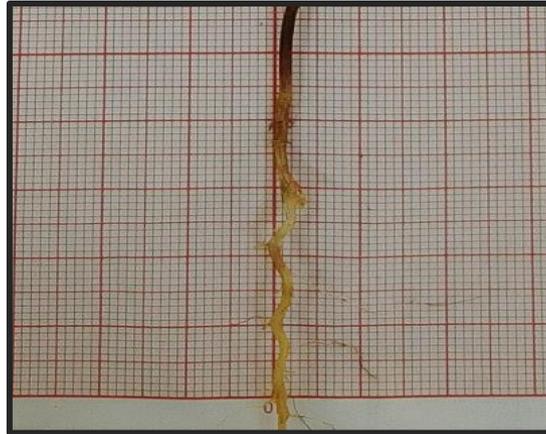


Figure 19: Les racines de la vesce commune (*Vicia sativa* L) après l'inoculation

6.3. Effet de l'inoculation sur la longueur de la partie aérienne et racinaire

L'inoculation de la Vesce (*Vicia sativa*) avec les souches de PGPR sélectionnées n'a pas stimulée le développement de la partie aérienne des plantes par rapport aux témoins non inoculés (figure 21), et l'étude statistique montre que l'effet de souche n'a aucun effet significatif ($P > 0.05$) (annexe 10). Ces résultats ne sont pas en accord avec Sharghi *et al.*, (2018), qui ont montré que les PGPR augmentent d'une façon significative la surface foliaire, des plantes.

Les souches (B4 : *Pseudomonas luteola*, S3 : *Rhizobium radiobacter*, S5 : *Rhizobium radiobacter*, S6 : *Pseudomonas fluorescent*, S8 : *Sphingomonas paucimobilis*) ont la capacité de stimuler nettement la croissance de la partie racinaire des plantes par rapport aux témoins non inoculés, et l'effet le plus remarquable est celui d'une amélioration nette de la longueur racinaire des plantes inoculées par la souche (S8 : *Sphingomonas paucimobilis*) (figure 20), et l'étude statistique confirme ce résultat, où l'effet de souches sur la longueur racinaire est très hautement significatif ($p < 0,001$) (annexe 10). Ces résultats sont cohérents avec Lifshitz *et al.*, (1987), qui ont montré que l'inoculées avec des souches puissantes attribuées à la production de régulateurs, et que la croissance bactérienne à l'interface de la racine de la plante stimule leur développement et conduits à une meilleure absorption de l'eau et des nutriments du sol.

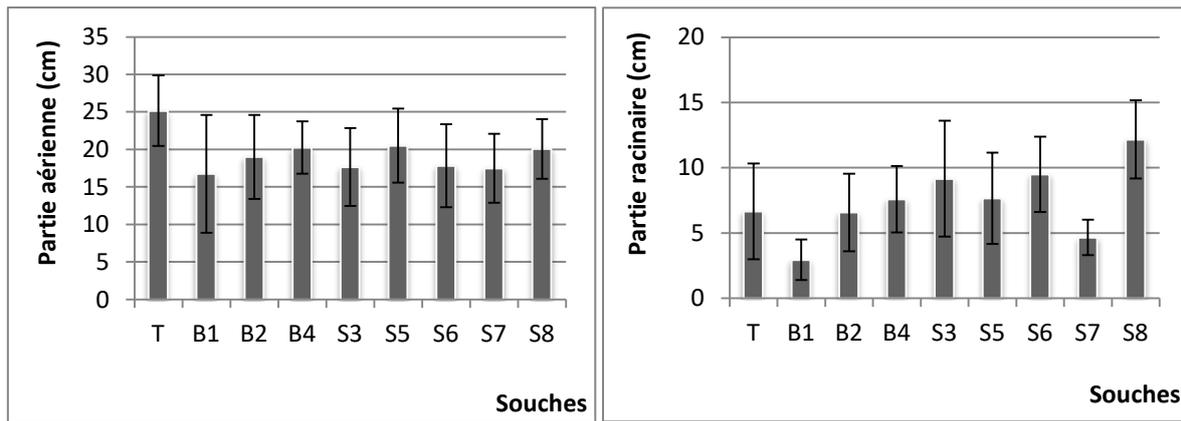


Figure 20: Effet de souches a effet PGPR sur la longueur de la partie aérienne et racinaire la Vesce (*Vicia sativa*.)

B1 : *Sphingomonas paucimobilis*, **B2** : *Pseudomonas fluorescent*, **B4** : *Pseudomonas luteola*,
S3 : *Rhizobium radiobacter*, **S5** : *Rhizobium radiobacter*, **S6** : *Pseudomonas fluorescent*,
S7 : *Pseudomonas luteola*, **S8** : *Sphingomonas paucimobilis*

6.4. Effet de l'inoculation sur le poids frais et sec des plantes

L'inoculation de la vesce (*Vicia sativa*) avec les souches sélectionnées n'a pas amélioré la croissance des plantes par rapport aux témoins non inoculés (figure 21), et l'étude statistique montre que l'effet des souches sur le poids frais et sec n'a aucun effet significatif ($P > 0.05$) (annexe 10). Ce résultat ne concorde pas avec plusieurs études qui ont montrées la performance de l'application des PGPR sur le développement des plantes. D'après Jha et Saraf, (2015) les PGPR en particulier (*Rhizobium radiobacter*) favorisent de manière significative la croissance de plantes via la production de différentes phytohormones comme l'AIA, l'acide gibbérellique et les cytokinines.

Les résultats obtenus suggèrent que les souches testées ne sont pas efficaces, ou bien les facteurs édaphiques entravent la performance de ces microorganismes, tels que la carence en phosphore, et le faible taux en matière organique qui est un indice de fertilité de sol, et qui promouvoir toute activité microbienne (Robert, 1996).

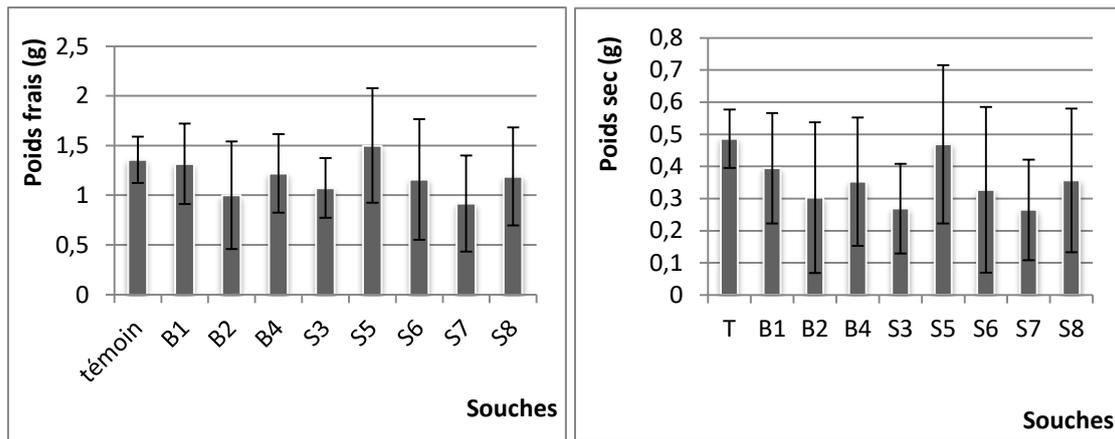


Figure 21 : Effet de souches a effet PGPR sur le poids frais et sec de plantes de la Vesce commune (*Vicia sativa*)

B1 : *Sphingomonas paucimobilis*, **B2** : *Pseudomonas fluorescent*, **B4** : *Pseudomonas luteola*,
S3 : *Rhizobium radiobacter*, **S5** : *Rhizobium radiobacter*, **S6** : *Pseudomonas fluorescent*,
S7 : *Pseudomonas luteola*, **S8** : *Sphingomonas paucimobilis*

Conclusion

Conclusion

Il est inéluctable d'introduire de nouvelles pratiques qui contribuent à accroître la production agricole, et limiter l'entrée des engrais azotés qui sont néfastes à la santé humaine et animale. L'utilisation des Bactéries promotrices de la croissance des plantes (PGPR) est une technique prometteuse pour une agriculture durable. L'efficacité de ces Bio-intrants a été déjà prouvée pour améliorer la croissance des plantes, l'émergence des semences et le rendement global de cultures.

Un essai comparatif a été réalisé au champ sur la Vesce (*Vicia sativa*) inoculé par des souches de PGPR à savoir : B1 : *Sphingomonas paucimobilis*, B2 : *Pseudomonas fluorescens*, B4: *Pseudomonas luteola*, S3 : *Rhizobium radiobacter*, S5 : *Rhizobium radiobacter*, S6: *Pseudomonas fluorescens*, S7 : *Pseudomonas luteola*, S8: *Sphingomonas paucimobilis*.

La caractérisation phénotypique, et biochimique des souches sélectionnées a été vérifiée. Un test d'antibiogramme a été effectué, et les résultats montrent que les souches sélectionnées sont révélées résistantes à tous les antibiotiques testés (Tétracycline, Ciprofloxacine, Amoxiciline) sauf à la Gentamicine.

L'inoculation des souches à effet PGPR testées n'a pas renforcé l'établissement de la relation symbiotique attendue, où aucun nodule n'a été enregistré sur les racines de la Vesce (*Vicia sativa*). L'échec de la nodulation peut être du également à l'absence ou l'inefficacité de bactéries fixatrices d'azote dans le sol, ou bien leur action est entravée par des facteurs édaphiques.

L'inoculation de la Vesce (*Vicia sativa*) avec les souches sélectionnées n'a pas stimulé le développement et la croissance des plantes par rapport aux témoins non inoculés ; et l'étude statistique montre que l'effet de souche n'a aucun effet significatif sur le poids frais, sec, et la partie aérienne ($P > 0.05$). Par contre, l'inoculation a stimulé la croissance de la partie racinaire des plantes, et l'effet le plus remarquable a été enregistré par la souche (S8: *Sphingomonas paucimobilis*), l'étude statistique confirme ce résultat, où l'effet de souches est hautement significatif.

Au terme de ce travail, il serait intéressant d'approfondir cette étude en testant les activités PGPR (solubilisation de phosphate, production de sidérophores, production des phytohormones...). Il serait intéressant également d'élargir l'étude sur des souches plus efficaces afin de surmonter les obstacles liés aux facteurs édaphiques (faible taux en matière organique, carence en phosphate...).

Références bibliographiques

Références bibliographique

1. **Abbasi A R, Sarvestani R, Mohammadi B, and Bagher A.2014.**Drought Stress-Induced Changes at. Physiological and Biochemical Levels in Some Common Vetch (*Vicia sativa L.*) Genotypes .J. Agr. Sci. Tech. (2014) Vol. 16: 505-516:
2. **Ahmed M, Khan M S.2012 .**Effects of pesticides on plant growth promoting traits of Mesorhizobium strain MRC4.J. Saudi Soc. Agric .Sci.11 ,63-71
3. **APG III .2009.** An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants. Botanical Journal of the Linnean Society 161 :121.12-105
4. **Aarssen LW, Hall I V and Jensen, K I N .1986.**THE BIOLOGY OF CANADIAN WEEDS. 76. *Vicia angustifolia*L. *V. cracca*L L., *V.sativa* L., *V. tetrasperma* (L.) Schreb. And *V.vilosa* Roth.Can. J. Plant Sci. Downloaded from cdnsciencepub.com by 129.45.83.131 on 03/09/
5. **Barahona E, Navazo A, Martínez-Granero F, Zea-Bonilla T, Pérez-Jiménez R M, Martín M, Rivilla R.2011 .***Pseudomonas flourescens* F113 mutant with enhanced competitive colonization ability and improved biocontrol activity against fungal root pathogens. Appl. Environ. Microbiol. 2011, 77, 5412–5419.
6. **Barmak J H, Omid A, Alireza H F. 2011.**The Role of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) in Sustainable Agriculture. Advances in Environmental Biology, 5(10): 3079-3083
7. **Berg G, Roskot N, Steidle A, Eberl L, Zock A, Smalla K.2002 .** Plant-dependent genotypic and phenotypique diversity of antagonistic rhizobacteria isolted from different *Verticillium* hodt plants. Appl. Environ .Microbiol . 68 : 3328-3338
8. **Berger, A.2019.** Contribution des phytoglobines et des nitrate réductases à la régulation de l’oxyde nitrique et de la fixation de l’azote dans la symbiose *Medicago truncatula* / *Sinorhizobium meliloti*, THÈSE DE DOCTORAT.
9. **Bhattacharyya P, Jha D K.2011.** plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) : emergence in agriculture, World J Microbial Biotechnol (2012) 28 :1327-1350.
10. **Broughton W J, Zhang F, Perret X, and Staehelin C, 2003:** Signals exchanged between legumes and Rhizobium: agricultural uses and perspectives. Plant Soil. 252, 129–137.
11. **Bosmali I , Lagiotis G , Haider N , Osathanunkul M , Biliaderis,C and Madesis P P P.2022.**DNA-Based Identification of Eurasian *Vicia* Species Using Chloroplast and Nuclear DNA Barcodes. Plants 2022, 11, 947

Références bibliographique

12. **CASFM.2014.** comité de l'antibiogramme de la société française de microbiologie, recommandation 2014.ED.mai 2014 ,8p.
13. **Chaibdraa A, Medjellekh M S, Saouli A, Bentakouk M C.2008.**Le Pseudomonas: experience du Centre des Brules D'Annaba et Revue de la Litterature. *Annals of Burns and Fire Disasters*, 21(4), 210
14. **Chen YP, Rekha PD, Arun AB, Shen FT, Lai WA, Young CC.2005.** Phosphate solubilizing bacteria from subtropical soil and their tricalcium phosphate solubilizing abilities. *Applied Soil Ecology*. 2006 Nov 1;34(1):33-41. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2005.12.002>
15. **Chhayaa, Bindu Yadavb B , Jogawatc A , Gnanasekarand P, Kumarie P, Lakraf N, Lalg S K , Pawarb J Narayanh O P.2020 .** an overview of recent advancement in phytohormones – mediated stress management and drought tolerance in crop plants ,plant gene 25(2021) 100264 , pp 1-12
16. **Choudhury D, Tarafdar S, Dutta S.2022 .**Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and their eco-friendly strategies for plant growth regulation: a review. *Plant Science Today (Early Access)*. , ISSN 2348-1900, PP 1-13, <https://doi.org/10.14719/pst.1604>
17. **Cotte A.1961.**les variétés de légumineuse annuelles
18. **Coronado C, Zuanazzi J, Sallaud C, Quirion JC, Esnault R, Husson H P, Kondorosi A et Ratet P.1995.** A laflaf. Root. Flavonoid production is Nitrogen Regulated. *Plant Physiol*. 108, 533-542.
19. **De Lajudie P.2004.** Taxonomie des microsymbiotes des légumineuses : historique et dernier développement, 2eme conférence Méditerranéenne de rhizobiologie, 23-25 Mai. Oran Algérie,2p
20. **Downie J A.2014.** Legume nodulation, *Current Biology*, Elsevier, Vol 24. No 5.R184-R190
21. **Downie J A.2010.** The roles of extracellular proteins, polysaccharides, and signals in the interactions of Rhizobia with legume roots. *FEMS Microbiol. Rev*. 2010, 34, 150–17
22. **Diedhiou I, Diedhiou AG and Diouf D .2022 .**Les symbioses fixatrices d'azote: types et régulateurs transcriptionnels de la nodulation, *Int. J. Biol. Chem. Sci*. 16(2): 695-712, 2022
23. **Dong R, Jahufer M Z Z, Dong DK, Wanga Y R and Lui Z P.2016.**Characterisation of the morphological variation for seed traitsamong 537 germplasm accessions of

Références bibliographique

- common vetch (*Vicia sativa* L.) using digital image analysis .NEW ZEALAND JOURNAL OF AGRICULTURAL RESEARCH, 2016VOL. 59, NO. 4, 422–435.
24. **DSA .2018, 2019.** Direction des Statistiques Agricoles et des systèmes d'information, Série B, Année 2019
 25. **Evans J, Dear B, O'Connor G. 1990.** Influence of an acid soil on the herbage yield and nodulation of five annual pasture legumes. *Aust J Exp Agric* 1990 ; 30 :55-60
 26. **Fatou N D.2002.** Utilisation de l'inoculum de rhizobium pour les cultures du haricot (*Phaseolus vulgaris*) au Sénégal. Thèse, université Cheikh Anta Diop Dakar, 3-20.
 27. **Ferguson B, Lin M and Gresshoff P.2013.** Regulation of legume nodulation by acidic growth conditions, *Plant Signaling & Behavior* 8 :3, e23426 ; March 2013 ; © 2013 Landes Bioscience
 28. **Ferguson B, Mens C, April H, Hastwell, Zhang M, Su H, Jones C, Chu X, Gresshoff M.2018.** Legume nodulation: The host controls the party, *Plant Cell Environ.* 2019;42:41–51
 29. **Fernando WD, Nakkeeran S, Zhang Y.2005.** Biosynthesis of antibiotics by PGPR and its relation in biocontrol of plant diseases. In: *PGPR. Biofertilizers and biocontrol.* Springer, Dordrecht, pp 67–109
 30. **Fitouri S.2011.** Diversité phénotypique et moléculaire des microsymbiotes de *Sulla* du nord (*Médysarum Coronarium* L.) et sélection de souches rhizobiales efficaces. www.mémoire online.com
 31. **Foysal M J, Rahman M M, and Alam M.2011.** Antibiotic sensitivity and in vitro antimicrobial activity of plant extracts to *Pseudomonas fluorescens* isolates collected from diseased fish. *International Journal of Natural Sciences*, 1(4), 82-88
 32. **Franché C, Lindström K, and Elmerich C. 2009.** Nitrogen-fixing bacteria associated with leguminous and non-leguminous plants. *Plant Soil.* 321, 35–59.
 33. **Gage D.2004.** Infection and Invasion of Roots by Symbiotic, Nitrogen-Fixing rhizobia during Nodulation of Temperate Legumes, *MICROBIOLOGY AND MOLECULAR BIOLOGY REVIEWS*, June 2004, p. 280–300 Vol. 68, No. 2.
 34. **Glick B R.1995.** The enhancement of plant growth by free-living bacteria .*Can J. Microbiol.* 41:109-117.
 35. **Glick B R.2012.** Plant growth promoting bacteria: mechanisms and applications, Hindawi Publishing Corporation. Scientifica. pp. 1-15.

Références bibliographique

36. **Gamalero E, Bona E, Glick B R.2022.**Current Techniques to study Beneficial Plant-Microbe Interactions. *Microorganisms* 2022, 10, 1380.
37. **Gouda S, Kerry R G, Das G, Paramithiotis S, Shin HS, Patra J K.2018.** Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable development in agriculture. *Microbiol Res.* 2018; 206: 131-140. 15
38. **Han H S, Lee K D.2006.** Effect of Co-inoculation with phosphate and potassium solubilizing bacteria on mineral uptake and growth of Pepper and cucumber . *Plant soil environ* 7.
39. **Handelsman J, Stabb EV. 1996.**Biocontrol of soil-borne plant pathogens. *Plant Cell* 8: 1855-1869.
40. **Haq I, Binjawhar D N, Ullah Z, Ali A, Sher H and Ali I.2022.**Wild Vicia Species Possess a Drought Tolerance System for Faba Bean Improvement. *Genes* 2022, 13, 1877
41. **Hanelt P, Mettin D.1989.** Biosystematics of the genus *Vicia* L. (*Leguminosae*).*Annu.Rev.Ecol.Syst*, 20,199-223.
42. **Hopkins.2003.**Physiologie végétale .université des sciences et technologie de lille Edition de boeck pp, 99-119.
43. **Huang Y F, Gao X L, Nan Z B, Zhang Z X. 2016.**Potential value of the common vetch (*Vicia sativa* L.) as an animalfeedstuff: a review.*Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 101 (2017) 807–823.
44. **Hu J, Wei Z, Kowalchuk G A, Xu Y, Shen, Q, Jousset A.2020.** Rhizosphere microbiome functional diversity and pathogen invasion Resistance build up during plant development. *Environ. Microbiol.* 2020, 22, 5005–5018
45. **Jha C K and Saraf M .2015.** Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR). *Journal of Agriculture Research and Development*, 5(2), 0108-0119.
46. **Jordan D C.1982.**Transfer of *Rhizobium japonicum* Buchanan 1980 to *Bradyrhizobium* gen. Nov., a genus of slow-growing, root nodule bacteria from leguminous plants. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology.*32, 136–139.
47. **Joshi Y B, Chu J, Pratico D .2012 .**Stress hormone leads to memory deficits and altered tau phosphorylation in a mouse model of Alzheimer’s disease. *J. Alzheimers Dis.* 31 : 167-176

Références bibliographique

48. **Kannoja P, Choudhary K K, Srivastava A K, Singh A K.2019.** PGPR bioelicitors: Induced systemic resistance (ISR) and proteomic perspective on biocontrol. PGPR amelioration in sustainable agriculture: Elsevier; 2019. p. 67–84
49. **Khan M S A, Zaidi M and Javed .2009.**Microbial strategies for crop Improvement.pp:1-371. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
50. **Klopper J W et Beauchamp C J.1992.**A review of issues related to measuring colonization of plant roots by bacteria. Can.J.Microbiol .38 ,1219-1232
51. **Kloepper J W, Lifshit R and Zablotwicz R M.1989 .**Free-living bacterial inoculation for enhancing crop productivity. Trends Biotechnol, 7: 39-43.
52. **Kundan R, Pant G, Jadon N, Agrawal P K.2015.**Plant growth promoting rhizobacteria: Mechanisms and current prospective. J. Fertil. Pestic. 2015, 6, 155
53. **Kupicha F K ,1983 :** The infrageneric structure of *Lathyrus*.Note Roy Bot. Gard Edinb, 41,209-244
54. **Kupicha F K .1976.**The infrageneric structure of *Vicia* .Note Roy Bot. Gard Edinb, 34,287-326.
55. **Larpent J P, Larpent-Gourgaud M.1985.**Manuel pratique de microbiologie. Ed Hatmann, France, 230p.
56. **Leong J.1986.**Siderophores: Theirbiochemisty and possible role in the biocontrol of plant pathogens. Ann. Rev. Phytopathol. 24 : 187-209 .
57. **LE Chatelier, Joya R, Martinet. Y.2016.**Les légumineuses, alliées d'une agriculture écologiquement intensive. L'exemple de la luzerne. POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE - NUMÉROSPÉCIAL - SEPTEMBRE 2016
58. **Lewis G P, Schrire B, Mackinder B, Lock M.2005.**Legumes of the World; Royal Botanic Gardens: London, UK, 2005; ISBN 9781900347808.
59. **Liang J, Klingl A, Lin Y Y, Boul E, Thomas-Oates J, Marín M A. 2019.**subcompatible Rhizobium strain reveals infection duality in Lotus. J. Exp. Bot. 2019, 70, 1903–1913.
60. **Lifshitz R, Klopper J W, Kozłowski M, Simonson C, Caklson J, Tipping EM, and Zakeska I .1987.**Growth promotion of canola (rapessed) seedlings by a dtrain of *Pseudomonas pitida* under genotobiotic conditions. Can.j Microbiol. 33 : 390-395
61. **Li M, Zhao L, Zhou Q, Fang L, Luo D, Liu W, Searle I R and Liu Z. 2022.**Transcriptome and Coexpression Network Analyses Provide In-Sights into the

Références bibliographique

- Molecular Mechanisms of Hydrogen Cyanide Synthesis during Seed Development in Common Vetch (*Vicia sativa L.*). *Int. J. Mol. Sci.* 2022, 23, 2275.8.
62. **Liu CH and Murray J.2016.**The Role of Flavonoids in Nodulation Host-Range Specificity: An Updat. *Plants* 2016, 5, 33.
63. **Loper J E, Buyer J W.1991.**Siderophore in microbial interactions on plant surfaces. *Mol. Plant –Microbe Int.* 4: 5-13.
64. **Martínez-Viveros O, Jorquera M A, Crowley D E, Gajardo G M, Mora M L.2010.**Mechanisms and practical considerations involved in plant growth promotion by rhizobacteria. *J Soil Sci Plant Nutri.* 2010; 10: 293-319. 43.
65. **Marschner H.1991.**Mechanisms of adaptation of plants to Acid soils. *Plant Soil* 1991;134:1-20.
66. **Macking H.2007.**Phytoremediation of contaminated soil on plant efficiency, rhizosphere
67. **Mebarkia A.2011.**variabilité génétique et analyses agronomiques de quatre espèces de vesces (*vicia spp.*) dans la région semi aride Sétif, thèse de Doctorat
68. **Mekonnen H and Kibret M.2021.**The roles of plant growth promoting rhizobacteria in sustainable vegetable production in Ethiopia, *Chem. Biol. Technol.Agric* (2021) 8:15, pp 1-11.
69. **Murthy K N, Uzma F, Chitrashree C S.2014.**Induction of systemic resistance in tomato against *Ralstonia solanacearum* by *Pseudomonas fluorescens*. *Am J Plant Sci.* 2014;5(12):1799–811.
70. **Ndoutamia G, Bessimbaye N, Kerah-Hinzoumbé, Yandi F, Sangaré L, Traoré A, Bounkougou I, Savadogo, A. Barro, N.2014.**profil de résistance des agents étiologiques des diarrhées isolés au Tchad .*Int.J.Biol.Chem.Sci.*8(6) :2452-2461,2014.
71. **Nelson L M .2004 .**Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): prospects for new inoculants. *Crop Manag.* 2004; 3: 1-7.
72. **Nihorimbere V, Ongena M, Smargiassi M, Thonart P .2011.**Beneficial effect of the rhizosphere microbial community for plant growth and health. *Biotechnology, Agronomy, Society et Environnement.* 2011; 15: 327-337. 14.
73. **Nouwen N, Arrighi J-F, Cartieaux F, Chaintreuil C, Gully D, Klopp C, Giraud E. 2017.**The role of rhizobial (NifV) and plant (FEN1) homocitrate synthases in *Aeschynomene/photosynthetic Bradyrhizobium* symbiosis. *Sci. Rep.*, 7: 448. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-01700559-0>

Références bibliographique

74. **O'hara G, Boonkerd N, Dil worth M J.1988.** Mineral constraintsto nitrogen fixation plant and Soil. 108, 93-110.
75. **Olanrewajuet O S, Glick B R, Babalola O O .2017.**Mechanisms of action of plant growth promoting bacteria. World J. Microbiol. Biotechnol. 2017, 33, 197.
76. **Oldroyd G E D and Leyser O.2020.**A Plant's Diet, surviving in a variable nutrient environment. Science 2020, 368, eaba0196
77. **Pál V, Zsombik L.2022.**Evaluation of the role of common vetch (*Vicia sativa L.*) green manure in crop rotations. ACTA AGRARIA DEBRECENIENSIS 2022-1
78. **Parissi Z, Irakli M, Tigka E, Papastylianou P P , Dordas Ch , Tani E, Abraham E M, Theodoropoulos A, Kargiotidou A, Kougiteas L, Kousta A, Koskosidis A A, Beslemes, S K D and Vlachostergios D N.2022.**Analysis of genotypic and environmentaleffects on biomass yield, nutritional and antinutritional factors in common vetch Agronomy2022, 12, 1678.
79. **Parmar P and Sindhu S S.2013.**Potassium solubilization by rhizosphere bacteria: influence of nutritional and environmental conditions, Journal of Microbiology Research 2013, 3(1): 25-31.
80. **Perret X, Staehe Lin C and Selander R K.2000.**Molecular basis of symbiostic promiscuity. Microbiol. Mol.Biol. Rev. 64, 180-201.
81. **Poole P , Ramachandran V , Terpolilli J.2018.**Rhizobia From saprophytes to endosymbionts. Nat. Rev. Microbiol. 2018, 16, 291–303.
82. **Puppo A, Groten K, Bastian F, Carzaniga R, Soussi M, Lucas M, Felipe M, Harrison J, Vanacker H and Foyer Ch.2004 .**Legume nodule senescence : roles for redox and hormone Signaling in the orchestration of the natural aging process, New Phytologist (2005) 165 : 683–701.
83. **Quispel A.1988.**Hellriegel and Wilfarth's discovery of symbiotic nitrogen Fixation one hundred years ago. In: Bothe H, de Bruijn F, Newton W, Editors. Nitrogen fixation: hundred years after. Stuttgart (Germany) : Gustav Fischer. P. 3–12
84. **Rehman F, Kalsoom M, Adnan M, Toor MD, Zulfqar A .2020.**Plant Growth Promoting Rhizobacteria and their Mechanisms Involved in Agricultural Crop Production: A Review. SunText Rev Biotechnol 1(2): 11
85. **Remond D, Warlrand S .2017.**Les graines de légumineuses: caractéristiques nutritionnelles et effets sur la santé. Innovations Agronomiques 60 (2017), 133-144..

Références bibliographique

86. **Richardson A E , Barea J M , McNeill A M , Prigent-Combaret C C.2009.** Acquisition of phosphorus and nitrogen in the rhizosphere and plant growth promotion by microorganisms, *plant soil* (2009) 321 : 305 -339
87. **Renier K.2010.**Catalase test protocol, American Society for Microbiology ,2016
88. **Robert M.1996.** Le sol interface dans l'environnement, ressource pour l'environnement. Dunod. Masson, Paris. 240 p
89. **Rojas-Jiménez K, Sohlenkamp C, Geiger O, Martínez-Romero E, Werner D, Vinuesa P A.2005.**C1C chloride Channel homolog and ornithine-containing membrane Lipids of *Rhizobium tropici* CIAT899 are involved in Symbiotic efficiency and acid tolerance. *Mol Plant Microbe Interact* 2005;18:1175-85;PMID: 16353552.
90. **Sattell R, Dick R, Luna J, McGath D D and Peachey E.1998.**Common Vetch (*Vicia Sativa L*), Oregon state university extention service, EM 8695, January, 1998.
91. **Sharma K, Mishra A k, Misra RS.2009.**Morphological, biochemical and Molecular characterization of *Trichoderma harzianum* isolates for their efficacy as biocontrol agents.
92. **Sharghi A, Badi H N, Bolandnazar S , Mehrafarin A , Sarikhani MR.2018.** Morphophysiological and Phytochemical Responses of Fenugreek to Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) under Different Soil Water Levels. *Folia Horti*, Vol 30.pp 215-228.J .Phytopathol. 157: 51-56.
93. **Santoyo G, Urtis-Flores C A , Loeza-Lara P D , Orozco-Mosqueda M D C, Glick B R.2021.**Rhizosphere colonization determinants by Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR). *Biology* 2021, 10, 475.
94. **Shields P and Cathcart L.2010.**Oxidase test protocol, American Society for Microbiology, 2016.
95. **Siddique Z A, Mahmood.1992.**Role of bacteria in the management of plant parasitic nematodes: A review. *Bioresour. Technol.* 69 : 167-179 .
96. **Soltner D.2005.**Les bases de la production végétale. Tom 1(Le sol et son amélioration).science et techniques agricoles .p 472.
97. **Stokstad E.2016.**The nitrogen fix. *Science* 2016, 353, 1225–1227.
98. **Sivasakthi S, Usharani G, Saranraj P.2014.**Biocontrol potentiality of plant growth promoting bacteria (PGPR) –*Pseudomonas Fluorescens* and *Bacillus subtilis*, 1268 *Afr J .Agric .Res .vol9(16).pp.1265-277.*
99. **Shen J, Yuan L, Zhang J, Li H, Bai Z, Chen X, Zhang W, Zhang F.2011.**Phosphorus dynamics: From soil to plant. *Plant Physiol.* 2011, 156, 997–1005.

Références bibliographique

100. **Smith S E, Smith FA.2011.**Roles of arbuscular mycorrhizas in plant nutrition and growth: New paradigms from cellular to ecosystem Scales. *Annu. Rev. Plant Biol.* 2011, 62, 227–250
101. **Spaepen S, Vanderleyden J, Remans R.2007.**Indole-3-acetic in microbial and
102. **Microorganism-plant signaling.** *FEMS Microbiology Reviews.* 31: 425-448.
103. **Stahelin CH and Krishnan H.2015.**Nodulation outer proteins: double-edged swords of symbiotic Rhizobia, *Biochem. J.* (2015) 470, 263–274
104. **Suárez-Moreno Z R, Vinchira-Villarraga D M, Vergara-Morales D I, Castellanos, L, Ramos F A, Guarnaccia C, Degrassi G, Venturi V, Moreno-Sarmiento N.2019.**Plant-Growth promotion and biocontrol properties of three *Streptomyces* spp. Isola testo control bacterial rice pathogens. *Front. Microbiol.* 2019, 10, 290
105. **Tilak K V B R, Ranganayakil K K , Pal R, De A K , Saxena C S , Nautiyala, Sphilpi Mittal A K , Tripathi and Johri B N .2005.**Diversity of plant growth and soil health supporting bacteria.*Curr .Sci.*89 :136-150.
106. **Tsegaye Z , Gizaw B , Tefera G, Feleke A , Chaniyalew S , Alemu T, Assefa F. 2019.**Isolation and biochemical characterization of Plant Growth Promoting (PGP) bacteria colonizing the rhizosphere of Tef crop during the seedling stage. *J. Plant Sci. Phytopathol.* 2019, 3, 013–027.
107. **Valverde A , Burgos A ,Fiscelle T, Rivas R, Velazquez E , Rodriguez-Barrueco C, Cervantes E, Chamber M, Igual J M.2006.**Differential effects of coinnoculations with *pseudomonas jessenii* PS06 (a phosphate-solubilizing bacterium) and *Mesorhizobium ciceri* C-2/2 strains on the growth and seed yield of chickpea under greenhouse and field conditions, *plant and soil* .287 :43-50.
108. **Van Loon L C.2007.**Plant responses to plant growth –promoting rhizobacteria .*European Journal of Plant pathology.*119:243-254.
109. **Vincent J M.1970.**A manual for the practical study of root-nodule bacteria .In: *International Biological Programme Handbook n°.15.*Blackwell Scientific Publications Ltd. Oxford .pp.71-97.
110. **Vincent J M.1970.**A manual for the practical study of root-nodule bacteria .In: *International Biological Programmed Handbook n°.15.*Blackwell Scientific Publications Ltd. Oxford .pp.73-97.

Références bibliographique

111. **Verma J P, Yadav J, Tiwari KN, Kumar A.2013.**Effect of indigenous *Mesorhizobium* spp. And plant growth promoting rhizobacteria on yields and nutrients uptake of chickpea (*Cicerareitinum L*) under sustainable agriculture.Ecological engineering .51:282-286.
112. **Vouraki S, Papanikolopoulou V, Irakli M, Parissi Z, Abraham EM and Arsenos G.2023.**Legume Grains as an Alternative to Soybean Meal in the Diet of Intensively Reared Dairy Ewes. Sustainability 2023, 15, 1028.
113. **Wais R J, Keating D H, Long S R.2002.**Structure-function analysis of nod factor-induced root hair calcium spiking in *Rhizobium*-legume symbiosis. Plant Physiology, 129,211-24.
114. **Wang H, Liu R, You M P, Barbetti M J, Chen Y.2017.**Pathogen biocontrol using plant growth-promoting bacteria (PGPR) : role of bacterial diversity. Microorganisms 2021, 9, 1988. P.1-18.
115. **Wei J , Luo B , Kong Sh , Liu W , Zhang Ch , Wei Z , Min M . 2023.** Screening and identification of multiple abiotic stress responsive candidate genes based on hybrid-sequencing in *Vicia sativa*. Heliyon 9 (2023) e13536.
116. **Whipps J M.2001.**Microbial interactions and biocontrol in the rhizosphere. J. Exp. Bot. 52:487-511.
117. **Wolff A, Singleton P, Sidirelli M, Bohlool B.1993.**Influence Of acid soil on nodulation and interstrain competitiveness in relation to tannin concentrations in seeds And roots of *Phaseolus vulgaris*. Soil Biol Biochem 1993;25:715-21.
118. **Xi H, Nguyen V, Ward Ch, Liu Z and Searle I R.2022.**Chromosome-level assembly of the common vetch (*Viciasativa*) reference genome. Gigabyte, 2022, DOI: 10.46471/gigabyte.38.
119. **Zhou Q, Cui Y, Dong R, Luo B,Fang L, Nan Z B and Liu Z.2022.**Integrative Analyses of Transcriptomes and MetabolomesReveal Associated Genes and Metabolites with Flowering Regulation in Common Vetch (*Vicia sativa L.*). Int. J. Mol. Sci. 2022, 23, 6818
120. **Zhou Y, Xu Y B, Xu J X, Zhang X H, Xu S H and Du Q P .2015.**Combined toxic effects of heavy metals and antibiotics on a *Pseudomonas fluorescens* strain ZY2 isolated from swine wastewater. *International Journal of molecular sciences*, 16(2), 2839-2850
121. **Zohary D, Hope M, Weiss W.2012.**La domestication des plantes, in les legumes sec pp 128, pour la présente édition, Actes sud, 2018, ISBN 978-330-06643-7

Références bibliographique

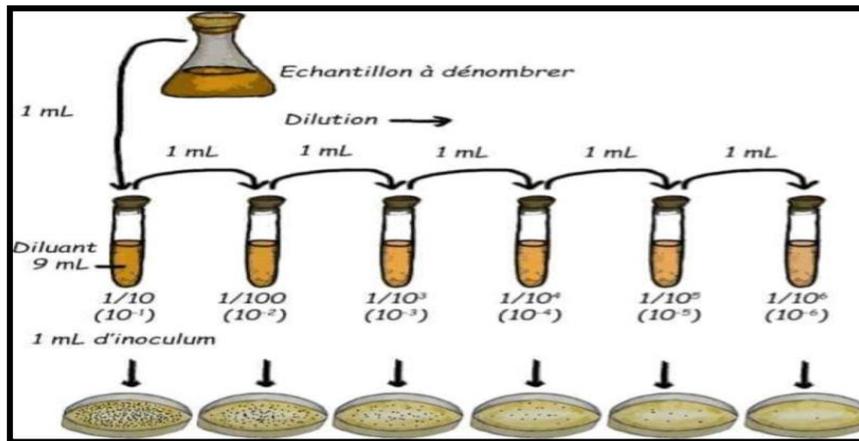
122. **Zahran H H .2001.**Rhizobia from Wild legumes : diversity, taxonomy, ecology, nitrogen fixation and biotechnology .*Biotechnol.*91 ,143-153

Annexes

Annexe 01

La technique de dilution

Une solution mère a été préparée par l'ajout de 10g de sol rhizosphériques à un flacon de 200 ml contenant 90ml d'eau physiologique, ensuite une série de dilution décimale en été réalisées (10^{-1} à 10^{-7}). A partir des 3 dernières dilutions 0,1 ml de chacun à été prélevé et étaler en surface sur gélose nutritive. Ensuite les boîtes ont été incubées à 28°C durant 48h.



Annexe2

Gélose Nutritive

- Peptone 6g/l
- Extrait de viande..... 1g/l
- Extrait de levure 2g/l
- Chlorure de sodium 5g/l
- Agar 14g/l
- PH..... 7.3-⁺ 0.2

Les composants sont suspendus dans 1L d'eau distillée, chauffés jusqu'à la dissolution complète. Après, la solution obtenue est autoclavée à 121°C pendant 15 minutes.

Annexes

Annexe 03

Tableau de lecture des galeries API 20 NE

Tests	Réaction	Négatif	Positif
NO 3	Potassium nitrate	Incolore	Rose-rouge
TRP	L-tryptophane	Incolore /jaune	Rose
GLU	D-glucose	Bleu/vert	Jaune
ADH	L-arginine	Jaune	Orange/rose
URE	Urée	Jaune	Orange/rose
ESC	Esculine : citrate de fer	Jaune	Gris/noir
GEL	Gélatine	Pas de diffusion du pigment	Diffusion du pigment noir
PNPG	4-nitrophenyl-βD-galactopuranoside	Incolore	Jaune
GLU	Glucose assimilation	Transparence	Trouble
ARA	Arabinose assimilation	Transparence	Trouble
MNE	Mannose assimilation	Transparence	Trouble
MAN	Mannitol assimilation	Transparence	Trouble
NAG	n- acetyl-glucosamine assimilation	Transparence	Trouble
MAL	Maltose assimilation	Transparence	Trouble
GNT	Gluconate assimilation	Transparence	Trouble
CAP	Caprate assimilation	Transparence	Trouble
ADI	Adipate assimilation	Transparence	Trouble
MLT	Malate assimilation	Transparence	Trouble
CIT	Citrate assimilation	Transparence	Trouble
PAC	Phenyl-acitrate assimilation	Transparence	Trouble

Annexe 04

Mueller-Hinton

- Sulfate d'ammonium.....2 g
- Agar1,5 g
- Solution de vitamines10,5 ml

Annexes

- Solution d'oligo-éléments10ml
- Phosphate monosodique6,24 g
- Chlorure de potassium.....1,5 g
- Eau déminéralisée.....qsp 1000 ml
- pH final.....7,0-7,2

Stériliser à l'autoclave à 121°C pendant 20 minutes

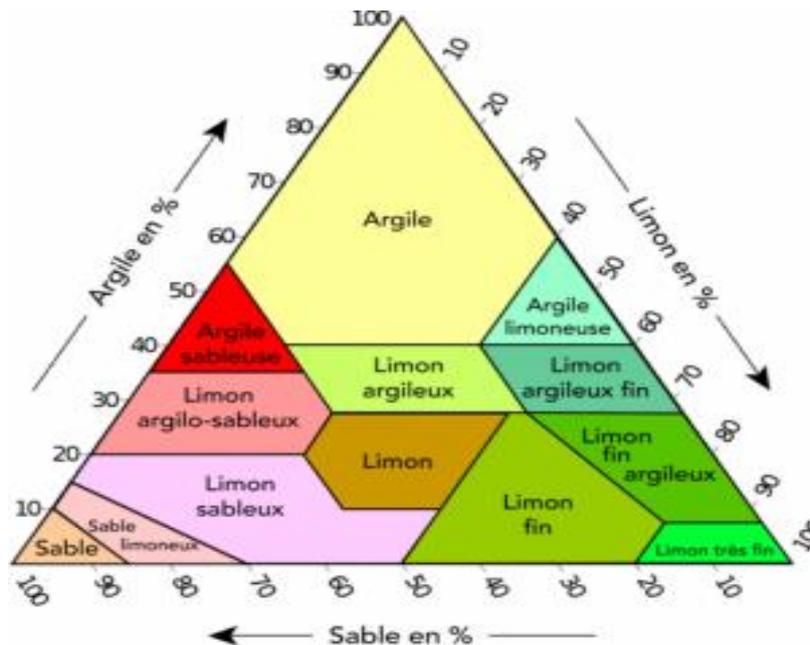
Annexe 05

Mc Farland

McFarland Standard	(1.175%) BaCL2 en ml	H2SO4 (1%)en ml	Densité approximative correspondante de bactéries/ml(108)
0,5	0,5	99,5	1
1	0,1	9,9	3
2	0,2	9,8	6
3	0,3	9,7	9
4	0,4	9,6	12
5	0,5	9,5	15
6	0,6	9,4	18

Annexe 06

Triangle de texture



Annexes

Annexe 07

Les normes des taux de matière organique

Teneur en MO%	Interprétation	
MO < 1,4	Sol très pauvre en matière organique	
1,4 ≤ MO < 2	Sol pauvre en matière organique	
2 ≤ MO < 3	Argile < 22%	Sol bien pourvu en matière organique
	22% < Argile < 30% (ou inconnu)	Sol moyennement pourvu en matière organique
	Argile > 30%	Sol pauvre en matière organique
3 ≤ MO < 4	Sol bien pourvu en matière organique	
MO ≥ 4	Teneur élevée en matière organique	

Source : programme d'interprétation LANO/CA de Basse Normandie
(http://www.lano.asso.fr/web/matiere_organique.html)

Annexe 08

Les normes de salinité du sol

Salinité (ECe : mS/CM)	Salinité du sol	Réponse des plantes
0 à 2	Non salé	Pas d'impact sur la croissance des plantes
2 à 4	Légèrement salé	La croissance des plantes sensibles peut être réduite
4 à 8	Moyennement salé	La croissance de plusieurs plantes est réduite
8 à 16	Salé	Bonne croissance des plantes tolérantes au sel
>16	Très salé	Bonne croissance des plantes très tolérantes au sel

1S/m = 104 μS/cm = 10 mS/cm = 103mS/m (Normalisations françaises, AFNOR, 1986)

Annexe 09

Taux de Phosphore (P)

Evaluation	Bray p (pH<7.2) ppm	Oslen p (pH>7.1) ppm
Faible	1-15	1-9
Faible à adéquate	15-25	10- 15
Adéquate	26-40	16- 24
Elevé	> 40	> 24

<http://agsource.crinet.com/page2903/UnderstandingASoilAnalysis>

Annexes

Annexe 10

Effet de l'inoculation sur la longueur de la partie aérienne

ANOVA					
Aerial part length (cm)					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	311,417	8	38,927	1,424	,213
Within Groups	1229,958	45	27,332		
Total	1541,375	53			

Effet de l'inoculation sur la longueur de la partie racinaire

ANOVA					
Root part length (cm)					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	352,930	8	44,116	4,824	,000
Within Groups	411,558	45	9,146		
Total	764,488	53			

Effet de l'inoculation sur le poids sec des plantes

ANOVA					
Plant fresh weight (g) plant-1					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1,601	8	,200	,930	,501
Within Groups	9,681	45	,215		
Total	11,282	53			

Effet de l'inoculation sur le poids frais des plantes

ANOVA					
Plant dry weight (g) plant-1					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	,307	8	,038	,982	,462
Within Groups	1,757	45	,039		
Total	2,063	53			

Résumé

L'exploitation et la valorisation des ressources biologiques dans la gestion des systèmes agricoles, est parmi les alternatives proposées pour limiter l'utilisation des intrants chimiques qui sont polluants, et néfaste à la santé humaine et animale. A cet égard, un essai a été réalisé au champ sur la Vesce (*Vicia sativa*) inoculé par huit souches à effet PGPR isolées à partir de sol rhizosphérique. Leur effet sur la croissance des plantes est vérifié, ainsi que leur caractérisation phénotypique et biochimique. Le profil d'antibioresistance montre que les souches sont révélées résistantes à tous les antibiotiques testés sauf à la Gentamicine. L'inoculation des souches n'a aucun effet sur la mise en place de la symbiose, et l'échec de la nodulation peut être du aux facteurs édaphiques défavorables. L'inoculation de la Vesce (*Vicia sativa*) avec les souches sélectionnées a stimulé seulement la croissance de la partie racinaire des plantes, et l'effet le plus remarquable a été enregistré par la souche (S8 *Sphingomonas paucimobilis*).

Mots clés: PGPR, *Vicia sativa*, inoculation, nodulation

Abstract

The exploitation and enhancement of biological resources in the management of agricultural systems is one of the alternatives proposed to limit the use of chemical inputs, which are polluting and harmful to human and animal health. To this end, a field trial was carried out on Vetch (*Vicia sativa*) inoculated with eight PGPR strains isolated from rhizospheric soil. Their effect on plant growth was verified, as was their phenotypic and biochemical characterization. The antibioresistance profile showed that the strains were resistant to all the antibiotics tested except Gentamicin. Inoculation of the strains had no effect on the establishment of symbiosis, and failure of nodulation may be due to unfavorable edaphic factors. Inoculation of vetch (*Vicia sativa*) with the selected strains only stimulated growth of the root part of the plants, and the most remarkable effect was recorded by the strain (S8 *Sphingomonas paucimobilis*).

Key words: PGPR, *Vicia sativa*, inoculation, nodulation

ملخص

يعتبر استغلال الموارد البيولوجية وتعزيزها في إدارة النظم الزراعية من بين البدائل المقترحة للحد من استعمال الاسمدة الكيميائية المضرة بصحة الإنسان و الحيوان. في هذا الصدد تم إجراء اختبار ميداني على البيقية تم تلقيحها بثمان سلالات من البكتيريا بتأثير معزولة من التربة الجذرية. تم التحقق من تأثيرها على نمو النبات وكذلك خصائصها الظاهرية , يوضح ملف مقاومة المضادات الحيوية أن جميع أنواع السلالات مقاومة لكل المضادات PGPR الكيميائية و الحيوية. الحيوية المختبرة باستثناء الجونتاميسين. ليس لتلقيح السلالات أي تأثير على إنشاء التعايش, وقد يكون فشل تكوين العقد راجع إلى عوامل تكوينية غير مواتية. أدى تلقيح البيقية بسلالات البكتيريا المختارة فقط إلى تحفيز نمو الجزء الجذري بواسطة السلالة S8 : *Sphingomonas paucimobilis* من النباتات , وتم تسجيل التأثير الأكثر بروزا

الكلمات المفتاحية: PGPR, البيقية , التلقيح , العقد