



N° d'ordre :

N° de série :

République Algérienne Démocratique et Populaire
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Université Echahid Hamma Lakhdar EL-OUED
جامعة الشهيد حمه لخضر الوادي
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
كلية علوم الطبيعة والحياة
Département de biologie
قسم البيولوجيا

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

*En vue de l'obtention du Diplôme de Master Académique en Sciences
Biologiques*

Spécialité : Biodiversité et environnement

THEME

**Effet promouvoir des bactéries PGPR sur
la croissance de la fève (*vicia faba*)**

Présenté par :

HAMDI Limame et MEHAOUAT Nacer eddine

Soutenu le : 05/06 /2018

Devant le jury composé de :

Président :	Mr. NILI.Med Seghir	M.C.A ,	université d'El-Oued
Promoteur :	Mr. DJOUDI.Abd elhak	M.A.A,	université d'El-Oued
Examineur :	Mr. MEHDA.Smail	M.A.A,	université d'El-Oued

Année universitaire : 2017 / 2018

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

REMERCIEMENTS

Nous remercions Monsieur Dr. NILI Mohammed Seghir. de nous avoir fait l'honneur de présider le jury.

Nous tenons à remercier plus particulièrement Monsieur DJOUDI Abd elhak qui nous a régulièrement suivis dans la réalisation de ce travail, pour son soutien, ses conseils, sa simplicité, sa générosité scientifique et ses qualités humaines.

Nos remerciements vont également à Monsieur MEHDA Smail d'avoir pris le temps d'examiner notre mémoire et d'avoir accepté de participer à ce jury.

Nous remercions toute l'équipe de la subdivision de Robbah de nous avoir aidés encouragés pendant tout notre travail.

Nous remercions également toute l'équipe du laboratoire de notre Université et l'équipe du laboratoire de faculté Sciences et de la technologie.

Merci également à nos camarades de la promotion Ecologie et environnement ,

Enfin, nos profonds remerciements s'adressent à toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail

À mes chers parents qui m'ont tant soutenu tout au long de mon parcours. Aucun hommage ni remerciement ne pourrait être suffisant

À mes sœurs

À toute la famille hamdi

A mes fils Mohammed , dhia

A mes filles Sarra , Inas

À mon cher binôme Nacer eddine et toute sa famille

À tous mes amis nacer , djamel, lazhari , ali

À tous mes enseignants et mes camarades de l'université

À tous les étudiants de la promotion M2 Ecologie et environnement
2017/2018

Limame

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail

À la mémoire de mon grand père

À mes chers parents qui m'ont soutenu tout au long de mes études

À mes sœurs Hayat, fatiha, Samira, Afaf

À mon frère Messaoud, Ridha , Abderraouf

À mes amis Imad, Hossin, Abdelmounim, Med Seddik

À mon cher binôme Limame et toute sa famille

À tous mes camarades avec qui j'ai partagé les années de l'université

À tous les étudiants de la promotion M2 Ecologie Et environnement 2017/2018

À tous les enseignants de la spécialité

Nacer eddine

Sommaire

Introduction	11
Première partie : Synthèse bibliographique.....	13
Chapitre I : La fève et la symbiose avec les bactéries.....	14
1 .La fixation biologique de l'azote atmosphérique.....	15
1.1. Place de la fixation biologique de l'azote atmosphérique.....	15
1. 2.Les organismes et les systèmes fixateurs de l'azote	16
1.3. Importance des différents systèmes fixateurs de l'azote.....	17
2. La fixation symbiotique de l'azote chez les légumineuses	17
2.1. La fève (<i>Vicia faba L.</i>)	18
2.1.1.Origines et caractéristiques de la plante	18
2.1.2.Classication botanique de la fève.....	19
2.1.3.Description de la plante hôte.....	19
2.1.4.Les variétés de la fève.....	19
2.1.5.Intérêt de la fève	20
Chapitre II: Effet des PGPR sur la croissance des plantes.....	22
1.Effet des PGPR sur la croissance des plantes.....	23
1.1.Le Rôle des (PGPR)	23
A. La fixation d'azote (N ₂).....	23
B. La résistance aux pathogènes du sol.....	23
C. La croissance racinaire	24
1.2.les différentes formes des PGPR et leur action sur les mécanismes de croissance des plantes.....	24
1.3. Effets des PGPR.....	25
1.3.1.Effets direct des PGPR	25
1.3.1.1.Stimulation de la germination des graines.....	25
1.3.1.2.Stimulationdela croissance végétale.....	26
1.3.1.3.Induction de la résistance systémique	26
1.3.2. Effets indirects des PGPR sur les plantes	27
1.3.2.1. Par compétition	27
1.3.2.2.Par production des sidérophores.....	28
1.3.2.3.Par antibiose	28

1.3.2.4. production au cyanure d'hydrogène (HCN) Rol dans la croissance des plantes cyanide	29
1.3.2.5. Composés volatiles.....	29
Chapitre III: Solubilisation du phosphates par PGPR au bénéfique des plantes.....	30
1. Cycle du phosphore et ses différentes formes	31
2. Mobilisation du phosphore dans le sol	32
2.1. La désagrégation	32
2.2. La Solubilisation du phosphate	33
2.3. La minéralisation.....	33
2.4. L'immobilisation.....	34
3. Mécanismes de solubilisation du phosphore	34
Deuxième partie: Partie expérimentale.....	36
Chapitre I: Présentation de la zone de prélèvement des PGPR.....	37
1. Présentation des zones de prélèvement des PGPR.	38
1.1. Situation géographique :.....	38
1.1.1. Relief :	38
1.1.2. Climat :	38
1.1.3. Température :.....	38
1.1.4. Humidité de l'air :.....	39
1.1.5. Précipitations:	39
1.1.6. Insolation :	39
1.1.7. Évaporation :.....	39
1.1.8. Sol.....	39
1.1.9. Texture :.....	40
Chapitre II: Matériel et méthodes.....	41
1. Echantillonnage.....	42
1.1. Le prélèvement des échantillons.....	42
2. Isolement des bactéries solubilisatrice de phosphate.	42
2.1. Préparation de milieu de culture	45
2.2. Ensemencement	45
2.3. Isolement	45

2.4. Test de solubilisation du phosphate calcique.....	45
2.5. Purification des bactéries	46
2.6. Conservation des souches	46
3. Effet de l'inoculation du sol sur la croissance de la fève	46
3.1. Préparation de l'inoculation	46
3.2. Préparation du sol	46
3.2.1. Prélèvement.....	46
3.2.2. La stérilisation.....	46
3.2.3. Mise en pots :	46
3.2.3.1. Matérielle végétale.....	46
3.2.3.2. Plantation.....	47
3.2.3.3. L'irrigation.....	47
4. Mesures de la croissance	47
4.1. La longueur de la partie aérienne.....	47
4.2. Longueur des feuilles.....	47
4.3. Nombre de racines	48
4.4. Longueur des racines	48
4.5. Le poids frais des plantes	48
4.6. Le poids sec des plantes.....	48
Chapitre III: Résultats et discussion.....	50
1. Isolement des bactéries solubilisatrice de phosphate.	51
1.1. Test de solubilisation.....	52
1.2. Isolement et purification et conservation	53
1.3. Préparation de l'inoculation	53
1.3.1. Les étapes de l'inoculation	53
2. Préparation du sol	54
2.1. Prélèvement du sol et stérilisation et mis en pots.....	54
2.2. Matérielle végétale.....	54
2.3. La Plantation :	55
3. Paramètres de croissance de plante	56
3.1. Longueur des tiges	56
3.2. Longueur des racines.....	57
3.3. Le nombre des racines.....	58
3.4. La longueur des feuilles	59
3.5. Le poids frais de la partie aérienne	60

3.6.Le poids frais de la partie racinaire	61
3.7.Le poids sec de la partie aérienne.....	62
3.8.Le poids sec de la partie racinaire	63
Conclusion.....	65

Liste des figures

N°	Titre	Page
01	Cycle de l'azote	16
02	Schéma montre les effets des PGPR	25
03	les points du prélèvement des échantillons Périmètre agricole Elberkadja (Image Google Earth 2018)	42
04	les échantillons prélever du Périmètre agricole Elberkadja	42
05	les échantillons prélever du Périmètre agricole Elberkadja	43
06	prélèvement des échantillons Périmètre agricole Oued Retem M'Rara (Image Google Earth 2018)	43
07	Le prélèvement des échantillons du Périmètre agricole Oued Retem	44
08	les échantillons prélever	44
09	Diagramme expérimentale	49
10	les isolats obtenus	51
11	le test de l'indice de solubilisation	52
12	l'ensemencement des isolats sur le milieu BN pour purification	53
13	les étapes de préparation de l'inoculum	53
14	le prélèvement du sol	54
15	la stérilisation du sol	54
16	les grains de la fève utilisée pour la plantation	54
17	le placement des pots dans la serre	55
18	la fève en plein croissance	55
19	la mesure du longueur de tige	56
20	la longueur des tiges en pourcentage	56
21	la mesure du longueur de racine	57
22	la longueur des racines en pourcentage	58
23	le compte des racines	58
24	le nombre des racines en pourcentage	59
25	la longueur des feuilles en pourcentage	59
26	la pesée du poids frais de la partie aérienne	60
27	le poids frais de la partie aérienne en pourcentage	60

28	la pesée du poids frais de la partie racinaire	61
29	le poids frais de la partie racinaire en pourcentage	61
30	le poids sec de la partie aérienne en pourcentage	62
31	la pesée du poids sec de la partie racinaire	63
32	le poids sec de la partie racinaire en pourcentage	63

Liste des Tableaux

N°	Titre	Page
01	Estimation des quantités d'azote fixé par différentes légumineuses cultivées	17
02	Composition chimique moyenne pour 100 g net de fève	21
03	Les différentes formes des PGPR et leur action	24
04	Diamètre des halo	52

Liste des abréviations

PGPR :plant growth promoting rizobacteria (Bactéries Favorisant la Croissance des Plantes)

P :.....phosphore

ACC :.....carboxilate-1-aminicyclopropane

COV :.....composes organique volatile

ISR :.....indiced Systemeique Resistance

SAR :.....Systemique Acquired Resistance

DAPG :.....diacetyl phloroglicinol

HCN :.....cyanure d'hydrogene

BPS :.....bacteries solubilisant phosphore

P :..... phosphore organique

NBRIP :.....National Botanical Research Institue's phosphate

BN :.....Bouillon nutritive

P.I.B :.....Production Interne Brute

DAPG :.....diacetylphloroglucinol

Résumé

La fève est une légumineuse ; Il est capable d'établir une relation symbiotique avec les rhizobies pour la fixation de l'azote, les bactéries solubilisant le phosphate PGPR jouent un rôle important dans la fertilité du sol et favorisent la croissance des plantes. Le but de cette étude consiste à isoler des bactéries qui solubilisent le phosphore calcique à partir du sol afin de le rendre assimilable pour notre plante de la fève.

- L'isolat 7.2 est la plus intéressante qui arrive à un indice de solubilité de 2.6.
- l'isolat 7.2 à favoriser la croissance de la plante en longueur de tige de 12.86%.
- l'isolat GAF à favoriser la croissance de la plante en longueur de racine de 11.85 %.
- l'isolat 7.2 à favoriser la croissance de la plante en nombre des racines de 28.18%.
- l'isolat 7.2 à favoriser la croissance de la plante en poids frais de la partie aérienne de 62.18 %.
- l'isolat 7.2 à favoriser la croissance de la plante en poids sec de la partie aérienne de 73.93%.

L'effet positif de l'inoculation du sol par l'isolats 7.2 sur la croissance de la fève ouvre un nouveau axe de recherche dans la région pour améliorer l'acquisition des minéraux par les plantes en utilisant les PGPR.

Mots clés : la fève, solubilisant du phosphate calcique, PGPR, isolat, fertilité du sol.

المخلص:

ينتمي الفول إلى عائلة البقوليات التي تتميز بالقدرة على إنشاء علاقة تعايش مع بكتيريا التربة الريزوبيا التي تسمح بتثبيت الأزوت الجوي . تلعب البكتيريا المذيبة للفوسفات دورا هاما في خصوبة التربة وتعزيز نمو النبات. الهدف من هذه الدراسة هو عزل البكتيريا التي تحلل فوسفور الكالسيوم من التربة من أجل التغذية لنبات الفول. في هذه التجربة قمنا بـ :

- عزلة 7.2 هو الأكثر إذابة للفوسفات التي تصل إلى مؤشر الذوبان من 2.6.
 - عزلة 7.2 عززت نمو النبات في طول الساق بـ 12.86%.
 - عزلة GAF عززت نمو النبات في طول الجذر بـ 11.85%.
 - عزلة 7.2 عززت نمو النبات في عدد الجذور بـ 28.18%.
 - عزلة 7.2 عززت نمو النبات في الوزن الطازج من الجزء الهوائي بـ 62.18%.
 - عزلة 7.2 عززت نمو النبات في الوزن الجاف للجزء الهوائي 73.93%.
- التأثير الإيجابي لتطعيم التربة بواسطة العزلة 7.2 على نمو نبات الفول يفتح مجال بحث جديد في المنطقة لتحسين اكتساب المعادن بواسطة النباتات التي تستخدم بكتيريا PGPR.

الكلمات المفتاحية : الفول, مذيب فوسفات الكالسيوم, بكتيريا معززة لنمو النبات , العزل , خصوبة التربة

ABSTRACT

The bean is a legume; It is able to establish a symbiotic relationship with rhizobia for nitrogen fixation PGPR solubilizing bacteria play an important role in soil fertility and promote plant growth. The purpose of this study is to isolate bacteria that solubilize calcium phosphorus from the soil to make it assailable to our plant bean.

- Isolate 7.2 is the most interesting that reaches a solubility index of 2.6.
- Isolate 7.2 to promote plant growth in stem length of 12.86%.
- Isolate GAF to promote the growth of the plant in root length of 11.85%.
- Isolate 7.2 to promote plant growth in root numbers of 28.18%.
- Isolate 7.2 to promote the growth of the plant in fresh weight of the aerial part of 62.18%.
- Isolate 7.2 to promote the growth of the plant in dry weight of the aerial part of 73.93%.

the positive effect of soil inoculation by isolates 7.2 on bean growth opens up a new area of research in the region to improve the acquisition of minerals by plants using PGPR.

Key words: bean, calcium phosphate solubilizer, PGPR, isolate, soil fertility.

Introduction

Introduction

Bien que secondaire par rapport aux secteurs pétroliers et industriels, l'agriculture joue un rôle important dans l'économie Algérienne, en employant 23% de la population active et en participant à 11% du P.I.B. dans cette dernière décennie. Les légumineuses alimentaires ont une superficie moyenne annuelle d'environ 60.000ha pour une production totale engrain secs de 250.000 tonnes (**World Bank, 2008**). La superficie occupée par ce segment a évolué rapidement entre 2000 et 2015 (en passant de 19.570 ha à 30.055 ha (**Djeghar Hadjer., Djeghar Ihsene, 2014**)).

Les cultures de légumineuses fournissent majoritairement des glucides (source d'énergie métabolique) et des protéines (sources d'éléments constitutifs et régulateurs) mais également une panoplie variée selon les espèces des autres éléments (lipides, fibres, éléments minéraux, vitamines) pour l'alimentation des hommes et des animaux.

Les rendements restent encore modestes à cause de nombreuses contraintes, d'ordre culturales, socio-économiques, abiotiques et biotiques qui causent une instabilité du rendement et une baisse de la production. tels que le déficit hydrique, la salinité, les variations de température, la déficience des sols en éléments minéraux surtout en P (**Graham, 1981; Bennanie.al ,2005**). En effet le phosphore est l'un des principaux éléments nutritifs limitant la productivité des légumineuses. La majorité du P contenu dans les sols se trouve sous des formes minérales et organiques complexes (**Drevon et Sifi, 2000**).

Les microorganismes du sol peuvent être bénéfiques en affectant positivement la qualité du sol et la croissance des plantes,. La diversité des communautés bactériennes rhizosphériques est influencée à la fois par le sol, sa composition, ses caractères physicochimiques, ainsi que par les exsudats racinaires produites par les plantes . Parmi cette grande diversité bactérienne, un groupe de bactéries communément appelé PGPR, de l'anglais « Plant Growth Promoting Rhizobacteria », est capable de coloniser la rhizosphère des plantes et d'apporter un effet positif à leur croissance (**Kang et al.,2012**).

Certains microorganismes facilitent, en effet, l'altération, la minéralisation, et la solubilisation des différentes formes de P et le met à la disposition des communautés microbiennes et végétales.

L'expérimentation de cette présente recherche consiste à déterminer l'effet de l'inoculation du support pédologique par des isolats des bactéries solubilisatrices du phosphore calcique BPS sur la croissance en paramètres biométrique de la fève (*Vicia faba*).

Plusieurs isolats BPS sont isolées à partir des sols du oued Righ subi les tests solubilisation du phosphates Les isolats qui présentent un pouvoir solubilisateur intéressant vont être utilisées dans notre expérience.

Pour réaliser ce travail nous avons effectué les étapes suivantes :

1. Recherche bibliographique ;
2. Présentation de la zone de prélèvement ;
3. Isolement des bactéries qui présentant un effet solubilisateur du phosphate calcique;
4. Utilisation des isolats pour stimuler la croissance de la fève dans les sols stérile et non stérile;

Première partie

Synthèse bibliographique

Chapitre I

*La fève et la symbiose avec
les bactéries*

1 .La fixation biologique de l'azote atmosphérique

la vie sur terre influence profondément la composition de l'atmosphère en produisant du dioxyde de carbone CO₂ et du méthane CH₄ à travers les processus de la respiration et la fermentation reliés au recyclage du carbone .

La fixation biologique de l'azote atmosphérique est le processus par lequel certains microorganismes transforment l'azote de l'air (N₂ ou diazote) en ammoniac (**Rose et Mueller, 2006**). Elle résulte de l'activité d'une enzyme qui s'appelle la nitrégénase (**Maier et al., 2009**).

1.1. Place de la fixation biologique de l'azote atmosphérique

Les plantes s'alimentent dans le sol à partir d'azote minéral et le transforment en protéines, composants essentiels de la vie pour l'homme et les animaux.

Le cycle de l'azote est l'un des cycles biogéochimiques les plus complexes, Une représentation simplifiée présentée sur **la figure 01**.

Le principal réservoir d'azote est l'atmosphère: l'azote gazeux (N₂) constitue 78% de l'atmosphère (**Richiefs et Miller., 2005**).

La plupart des organismes vivants (animaux ,végétaux, majorité des micro-organismes) ne peuvent cependant utiliser l'azote atmosphérique pour la synthèse de leurs acides aminés et des autres composés azotés: ils dépendent donc des molécules azotés puis réactives présentes dans le sol: comme l'ammonium et les nitrates.

Ces molécules ne sont malheureusement pas aussi abondantes que l'azote gazeux . Il en résulte que l'azote est souvent un facteur limitant dans les écosystèmes naturels ou cultivés (**Perry et al., 2004**) . Un processus essentiel de l'entre d'azote dans le cycle est la fixation biologique de l'azote atmosphérique (**Doré et al., 2006**). C'est une étape très important du cycle de l'azote, qui fournit de l'azote utilisable pour la nutrition des plantes(**modigan et martinko , 2007 ; Pedro,2007**) . La fixation biologique de l'azote capable de restituer à la biosphère l'azote combiné perdu par le phénomène de dénitrification (**Rose et Mueller., 2006**).

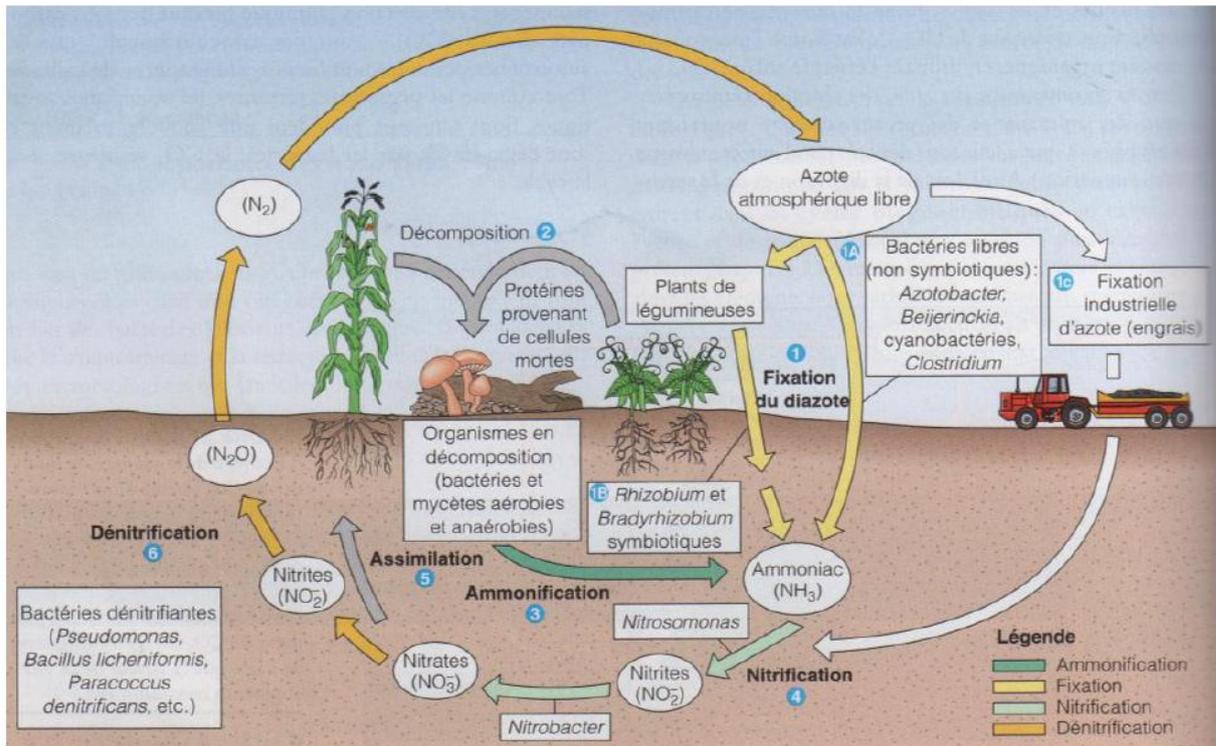


figure 01 : Cycle de l'azote (Tortora et al.,2003)

1. 2. Les organismes et les systèmes fixateurs de l'azote

Il existe des micro-organismes libres qui vivent dans le sol et assurent la fixation de l'azote, soit seules, soit en symbiose avec d'autres micro-organismes.

Ce sont principalement :

- des bactéries aérobies : *Azotobacter*, *Azomonas* ;
- des bactéries anaérobies : *Clostridium*, *Citrobacter*...

La fixation d'azote par les micro-organismes qui sont des diazotrophes remplit une fonction écologique irremplaçable (Davet, 1996). Ce sont des procaryotes (bactéries et cyanobactéries), qui vivent soit à l'état libre dans le sol, éventuellement en association avec un végétal, soit en symbiose avec un végétal (Vilain, 1997).

• **Les systèmes libres** : les micro-organismes fixateurs assurent la couverture de leurs besoins énergétiques à partir des carbohydrates du sol. En raison de la rareté de ces derniers et de la compétition des autres composantes de la microflore tellurique pour leur utilisation, le niveau de fixation de l'azote est faible (Vilain, 1997).

• **Les systèmes associatifs** : les micro-organismes fixateurs colonisent la rhizosphère des

plantes et profitent des exsudats racinaires pour assurer la couverture de leurs besoins énergétiques (Vilain, 1997).

• **Les systèmes symbiotiques** : l'association entre la plante et les fixateurs est plus étroite et se traduit par la formation de dispositions anatomiques (poches, épiphylls) ou de structures plus élaborées qui sont de véritables organes (nodules, hétérocystes) dédiés à l'interaction entre les deux symbiontes. Les plus évoluées de ces interactions sont en fait des endosymbioses en ce sens que le fixateur se retrouve hébergé dans un organe et de surcroît à l'intérieur des cellules de l'hôte comme c'est le cas de la symbiose rhizobia-légumineuses (Luttge *et al.*, 1994). La plante fournit les conditions et les éléments nutritifs nécessaires à la bactérie qui, en retour, fixe l'azote qu'intégreront les protéines végétales (Delory *et al.*, 2003; Tortora *et al.*, 2003).

1.3. Importance des différents systèmes fixateurs de l'azote

Les chiffres d'évaluations de la fixation d'azote annuelle globale, varient considérablement selon les auteurs.

Il est généralement admis que l'ensemble du processus de fixation biologique de l'azote, par les fixateurs libres, associatifs et symbiotique, peut s'élever entre 150 à 200 millions de tonnes par an à l'échelle de planète (Bliefert et Perraud, 2001). Par rapport à la quantité totale d'azote fixé dans les écosystèmes terrestres, la contribution majeure provient des systèmes symbiotiques. La symbiose fixatrice d'azote la plus importante au niveau de la biosphère est celle qui concerne les légumineuses et les bactéries Rhizobia (près de la moitié de l'azote fixé annuellement) (Drevon, 1992; Trinchant *et al.*, 1998). La fixation d'azote par les légumineuses (Tableau 01) présente un intérêt agronomique, écologique et économique considérable (Dommergue et Mongenot., 1970).

Tableau 01 : Estimation des quantités d'azote fixé par différentes légumineuses cultivées (valeurs extrêmes entre parenthèses) (Vilain, 1997; Soltner, 2005).

Espèces	N fixe Kg/ ha	
Luzerne	200	(56-463)
Trèfle	183	(45-673)
Lupin	176	(145-208)
Fève	210	(45-552)
Pois	65	(52-77)
Lentille	105	(88-114)
Soja	75	(1-168)

2. La fixation symbiotique de l'azote chez les légumineuses

Les légumineuses constituent une des familles les plus importantes du règne végétal avec environ 750 genres et 20000 espèces. Ce sont des angiospermes dicotylédones dont les fruits sont des gousses

L'association symbiotique entre Rhizobia; bactérie fixatrice d'azote atmosphérique, et les légumineuses représente l'un des modèles les plus importants d'interactions entre bactéries et plantes (**Madigan et Martinko., 2007**). Le bon fonctionnement de la symbiose rhizobia-légumineuses nécessite une coordination entre deux partenaires : la plante hôte (légumineuse ou macro- symbionte) et la bactérie (rhizobia ou micro- symbionte)

2.1. La fève (*Vicia faba* L.)

2.1.1. Origines et caractéristiques de la plante

Les fèves et fêveroles sont des cultivars d'une même espèce, *Vicia faba* L. . D'après la grosseur de la graine, on peut distinguer les sous- espèces : *Vicia faba* major (la fève proprement dite, à gros grains), *Vicia faba* equina (la fêverole à grains moyens) et *Vicia faba* minor (La fêverole à petits grains) (**Leguen et Duc, 1992; Le Clech, 1999**)

Les fêveroles à petits et moyens grains sont originaires du sud- ouest de l'Asie (sud de la mer Caspienne) (**Boyeldieu, 1991**), et la fève provient vraisemblablement d'Afrique (**Le Clech, 1999**) L'homme a probablement utilisé *V. faba* dans sa nourriture dès le néolithique.

Elle est essentiellement cultivée dans le bassin méditerranéen , en Amérique du sud et en Asie du sud- est, cultivée aussi en Europe occidentale et du nord (**Gallais et Bannerol., 1992**).

2.1.2. Classification botanique de la fève

D'après **Wojciechowski et al., (2004)**, cette classification a été décrite comme suit :

Règne : *Plantae*

Sous-Règne : *Tracheobionta*

Division : *Magnoliophyta*

Classe : *Magnoliopsida*

Sous-Classe : *Rosidae*

Ordre : *Fabales*

Famille : *Fabaceae*

Genre : *Vicia*

Espèce : *Vicia faba L.*

2.1.3. Description de la plante hôte

Vicia faba L est une plante herbacée annuelle, à tige simple, dressée, non ramifiée, creuse et de section quadrangulaire, se dressant à plus d'un mètre de haut du sol (**Peron, 2006**). Les feuilles alternes de couleur vert glauque ou grisâtre composées de deux ou trois paires de folioles opposées de forme ovale, son système racinaire est développé et descend profondément dans le sol (**Chaux et Foury, 1994**). La fève possède des fleurs qui sont généralement blanches avec des ailes noires, par deux à cinq petites grappes pédonculées (**Guinoolhet et De Vilmorin, 1984**). Les fruits sont de longues gousses vertes, épaisses, contenant de grosses graines ovales (**Couplen et Marm, 2009**).

2.1.4. Les variétés de la fève

Il en existe 2 sous-espèces, *paucijuga* et *eu-faba*. Dans la sous-espèce *eu-faba* qui nous intéresse, on dénombre 3 groupes définis par la taille des graines le premier groupe comporte des graines petites (*Vicia faba minor*) correspond au terme féverole utilisée pour l'alimentation du bétail, le deuxième groupe est défini par des graines moyennes (*Vicia faba equina*), et il est également destiné à l'alimentation du bétail et le troisième groupe est caractérisé par de grosses graines que l'on appelle communément fève (*Vicia faba major*) destinées à la consommation humaine (**Gallais et Bannerot, 1992**).

Il existe quatre variétés de fève:

- **Variétés très précoces**

On rencontre dans ce groupe le type Muchaniel. Elle a des gousses de couleur vert clair, de 20cm de longueur en moyenne, renfermant 5 à 6 graines blanches, elle est très productive.

- **Variétés précoces**

On rencontre dans ce groupe la Séville à gousses longues, renferment 5 à 6 graines volumineuses. Sa tige est d'une hauteur de 70cm, se distinguant des autres variétés par la couleur de son feuillage, d'un vert assez franc (**Chaux et Foury, 1994**). Ses gousses présentent une largeur d'environ 3cm et une longueur de 25 cm (**Laumonier, 1979**).

- **Variétés demi-précoces**

Les variétés demi-précoces appartiennent au type fève d'Aguadulcé, elles sont caractérisées par une plante de végétation haute de 1,10 à 1,20m, et possèdent des gousses volumineuses et très longues, renferment 7 à 9 graines. C'est une variété très productive (**Chaux et Foury 1994**). Elle est introduite en Algérie, avec la Séville, d'Espagne (**Zaghouane, 1991**).

- **Variétés tardives**

Elles ont une hauteur moyenne de 85cm, elles produisent de nombreuses gousses contenant 4 graines.

2.1.5 .Intérêt de la fève

La fève appartient à la famille des légumineuses, plantes dont les fruits forment une gousse. Comme toutes les espèces de cette famille, elle se différencie des légumes frais par des teneurs particulièrement importantes en fibres, protéines et glucides complexes. En raison de ces caractéristiques nutritionnelles, elle est considérée comme un féculent, au même titre que la pomme de terre ou le haricot blanc.

L'utilité de la fève dans l'alimentation humaine et animale comme source de protéines ainsi que leur effet bénéfique sur la fertilité des sols sont largement reconnus. L'utilisation de la fève est principalement orientée vers la consommation humaine en gousses fraîche à grande proportion et sous forme de graines secs ou au stade pâteux à faible proportion. Lors d'abondance le surplus des graines de fève incorporé dans la composition d'aliments du bétail (**Maatougui, 1997**).

La féverole, en revanche, lorsqu'elle est disponible, est strictement utilisée pour l'alimentation du bétail en graines concassées destinées aux bovins surtout pour l'engraissement. La fève peut être aussi utilisée en engrais vert dans les vergers (**Maatougui, 1996**). Pour sa valeur alimentaire; La fève est considérée parmi les cultures les plus riches en matières nutritives. La composition chimique moyenne pour 100 g net est présentée dans le tableau suivant

Tableau 02 : Composition chimique moyenne pour 100 g net de fève (**Fachmann et Kraut., 2006**).

Compositions (g)	Vitamine (mg)
Glucides10,0	Acide ascorbique.....82,00
Protides5,40	Provitamine A(carotène).....0,100
Lipides 0,30	B1 (thiamine).....0,300
Eau82,0	B2 (riboflavine).....0,200
Fibres alimentaire6,50	B3 (nicotamide).....1,800
Minéraux (mg)	Apports énergétiques
Potassium210,0	K calories.....64,00
Phosphore105,0	K joules.....268,0
Calcium24,0	
Magnésium18,00	
Soufre27,00	
Sodium4,00	
Chlore14,00	

Chapitre II

Effet des PGPR sur la croissance des plantes

1.Effet des PGPR sur la croissance des plantes (PGPR: bactéries promotrice de la croissance de plantes)Plant growth promoting rizobacteria

Les bactéries de la rhizosphère sont les PGPR qui peuvent améliorer la croissance des plantes par une grande variété de mécanismes par exemple la solubilisation du phosphate, la production de sidérophores. la fixation biologique de l'azote, la production de la rhizosphère désaminase 1 -aminocyclopropane-1 -carboxylate (ACC), la production des phytohormone, présentant une activité antifongique. la production de composés organiques volatils (COV)(Weller et al., 2002).

Parmi les effets bénéfiques des PGPR sur les plantes figurent la stimulation de la germination des graines et du développement végétal ainsi que l'amélioration de l'obtention des éléments minéraux et l'utilisation de Léau. ces effets se traduisent généralement par une phyto stimulation (Dobbelaere et al .,2002).Un autre aspect de l'effet direct des rhizobactéries est l'induction de la résistance de la plante à divers agents de stress biotiques tels que les bactéries, les champignons et les nématodes phyto pathogènes, ainsi qu'aux agents de stress abiotiques tels que la sécheresse. le froid, la salinité et les polluants (herbicides) (Ahemad et khan, 2010).

1.1.Le Rôle des (PGPR)

Certaines souches de PGPR des genres Pseudomonas, Bacillus, Azospirillum, Rhizobium ont récemment été décrites pour leur effet direct positif sur la croissance des plantes et l'augmentation du rendement de la culture (Vessey, 2003). Les PGPR peuvent favoriser la croissance des plantes hôtes par divers mécanismes .

A. La fixation d'azote (N₂)

Le sol contient de nombreuses espèces de bactéries pouvant transformer l'azote atmosphérique en ammoniac. Plusieurs de ces microorganismes vivent à la surface des racines des plantes ou même dans les tissus de certains végétaux. L'ammoniac est rapidement transformé en nitrates par les bactéries du sol.

B. La résistance aux pathogènes du sol

Certaines souches de PGPR ont la capacité d'excréter des métabolites actifs contre différentes bactéries et champignons. Certaines de ces molécules sont de véritables antibiotiques, qui

jouent un rôle important dans l'inactivation des facteurs de germination du pathogène ou la dégradation de leurs facteurs de pathogénicité comme les toxines.

C. La croissance racinaire

Certaines bactéries ont la capacité de produire des substances (régulateurs de la croissance végétale) comme l'AIA, les cytokinines et d'autres, ces régulateurs permettent à la plante de développer un système racinaire (Augmentation du diamètre et de la longueur des racines).

1.2.les différentes formes des PGPR et leur action sur les mécanismes de croissance des plantes.

Tableau03: les différentes formes des PGPR et leur action **Martínez-Viveros et al. (2010)**

Les formes des	Définition	Mécanisme d'action	Références
Bio fertilisant	Une substance qui contient des microorganismes vivants, lorsqu'elle est appliquée sur la surface de la plante des semences ou le sol, colonisent la rhizosphère et promeuvent la croissance des plantes en augmentant le nombre des éléments fertilisants primaires de la plante hôte	-La fixation biologique d'azote. -Utilisation du phosphore insoluble.	(Vessey, 2003) (Somers et al., 2004)
Phytobénéfique	Micro-organisme, capable de produire des phytohormones indole tels que l'action acétiques, l'acide gibbérellique les cytokinines et de l'éthylène.	Production des phytohormones	(Lugtenberg et al., 2002) (Somers et al., 2004) (Vessey, 2003)
Bio pesticides	Les micro-organismes qui favorisent la croissance des plantes en contrôlant les agents phytopathogènes	Production d'antibiotiques, sidérophores, d'enzymes, hydrolytiques acquis et systémique induite la résistance	(Somers et al., 2004) (Chandler et al., 2008)

1.3. Effets des PGPR

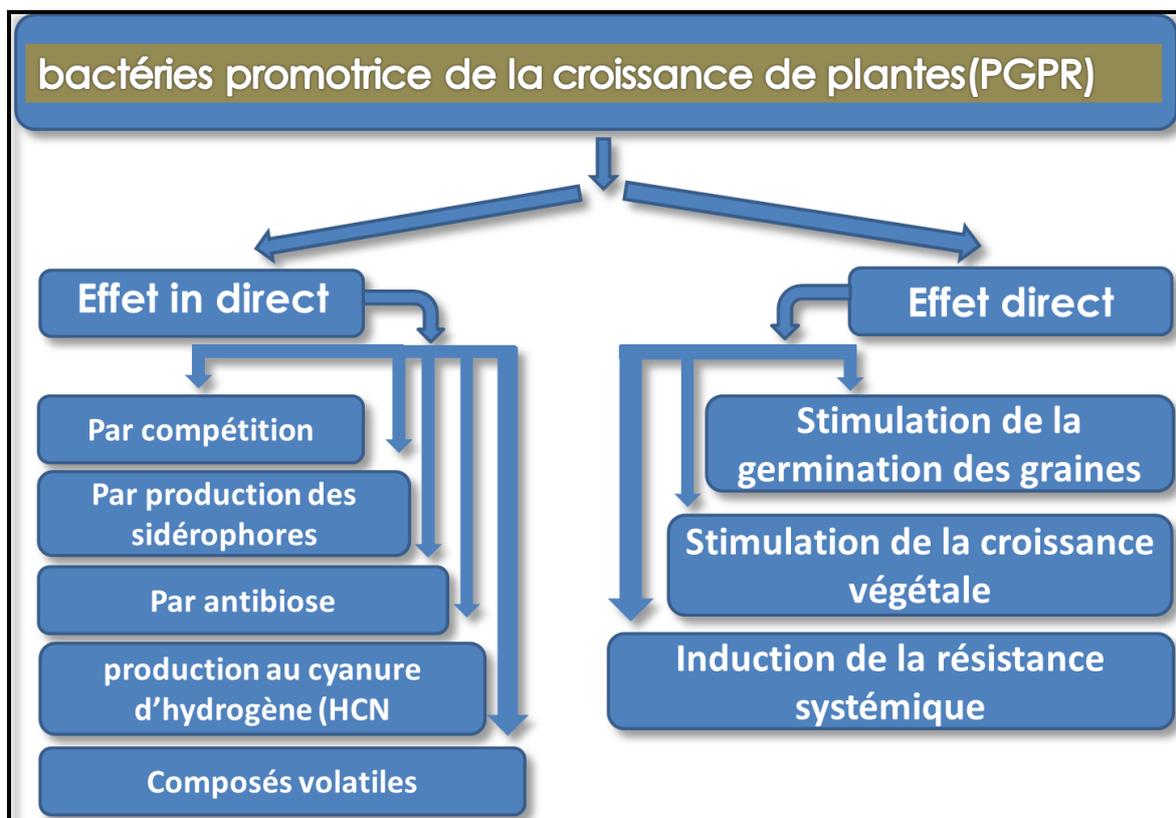


Figure 02 : schéma montre les effets des PGPR

1.3.1.Effets direct des PGPR

1.3.1.1.Stimulation de la germination des graines

Les PGPR utilisées comme des bio fertilisants efficaces pour l'amélioration des rendements des cultures en améliorant les paramètres de rendement notamment le taux de germination des semences tel qu'il a été démontré chez des souches d'*Azospirillum*, *Pseudomonas* et *Azotobacter* (Shaukat et al., 2006). D'après Gholami et al., (2009), des souches de *Pseudomonas* stimulent la germination de la semence du maïs cultivé dans des sols stérilisés ou non stérilisés sous serre et en plein champ. L'effet bénéfique des PGPR sur la germination des semences est aussi remarquable par leur pouvoir de coloniser la rhizosphère contre d'autres bactéries inhibitrices de la germination appelées rhizobactéries délétères (DRB) qui sont des saprophytes non pathogènes (Alstrom, 1991).

1.3.1.2. Stimulation de la croissance végétale

Les PGPR peuvent stimuler la croissance végétale par le biais de la production de signaux chimiques ou de phytohormones telles que les auxines, cytokinines et gibbérellines (**Lambrecht et al., 2000**) : comme elles peuvent détecter une phytohormone exsudée par la plante et produire son homologue (**Barazani et Friedman, 2001**). Cette stimulation touche la plante entière ou parfois les racines uniquement en produisant de nouvelles racines qui représentent un accès très facile des nutriments à la plante, et par conséquent l'amélioration de sa nutrition (**Yang et Crowley, 2000**). L'architecture des racines peut être influencée par l'effet des PGPR. Ainsi, ces dernières peuvent induire une ramification très prononcée des racines leur permettant de prospecter un volume du sol plus important et par conséquent assurer une meilleure nutrition à la plante (**Rolfe et al., 1997**). En générale, les PGPR peuvent améliorer l'acquisition des éléments nutritifs majeurs (N, P, K) par la plante (**Shaharoon et al., 2007**). L'assimilation et la solubilisation du phosphate inorganique et l'absorption du Nickel (Ni) (**Zaidi et al., 2006**)

1.3.1.3. Induction de la résistance systémique

Les plantes reconnaissent les agents pathogènes par des mécanismes de réponses induits, qui permettent de déclencher immédiatement leurs mécanismes de résistance après le premier contact avec des molécules étrangères et sont renforcés par l'interaction prolongée avec les agents pathogènes (**Göhre et Robatzek, 2008**). Certaines PGPR peuvent stimuler ces mécanismes et amènent la plante toute entière à un état de résistance appelée la résistance systémique induite. RSI (Induced Systemic Résistance, ISR) (**Van Loon et al., 1998**).

L'implication des PGPR dans la résistance systémique induite a été démontrée chez plusieurs plantes contre plusieurs agents pathogènes (**Meziane et al., 2005**).

Elle est l'équivalent de l'immunité chez les animaux, donc elle permet de reconnaître les agents pathogènes potentiels et induire des réponses qui les arrêtent ou ralentissent (**Jones et Dangl, 2006**).

D'après **Magnin-Robert et al. (2007)** l'induction de la résistance systémique semble l'une des alternatives à l'utilisation des fongicides chimiques.

1.3.2. Effets indirects des PGPR sur les plantes

Certains travaux ont indiqué que *Pseudomonas putida* assure deux effets bénéfiques, la stimulation de la croissance végétale et l'inhibition de la croissance de *Fusarium oxysporum* f.sp .melonis, agent causal de la flétrissure fusarienne chez le melon (**Bora et al ., 2004**). L'utilisation des rhizobactéries comme antagonistes de certains agent pathogènes telluriques a été démontrée par des travaux sur les sols suppressifs (**Keel et al., 1996**), qui se caractérisent par un très faible indice d'infection ou l'absence totale de la maladie, malgré la présence du pathogène et l'hôte susceptible (**Weller et al., 2002**). Selon **Gupta et al .(2000)**.

les rhizobactéries réduisent largement les maladies à origine tellurique. C'est ainsi que plusieurs souches de *Pseudomonas* ont été sélectionnées pour leur pouvoir antagoniste à l'égard d'une large gamme de maladies bactériennes, fongiques et virales (**Ramamoorthy et al ., 2001**). Les travaux de **Zermane et al . (2007)** ont abouti à la sélection de rhizobactéries PGPR efficaces dans la stimulation de la croissance de la fève et le bio contrôle de l'orobanche (*Orobanche crenata* Forsk.), une phanérogame parasite très nuisible aux légumineuses alimentaires, la fève (*Vicia faba* L.) en particulier.

L'effet bénéfique des PGPR par l'antagonisme est généralement la résultante de plusieurs interactions complexes entre la plante hôte, l'agent pathogène et les rhizobactéries qui peuvent être sous forme de compétitions trophiques. de production de sidérophores, d'antibiotiques, de cyanure d'hydrogène (I-ICN) et de composés volatiles (**Perez et al., 2002**).

1.3.2.1. Par compétition

En plus du fait que les PGPR soient compétitives aux autres populations microbiennes rhizosphériques, elles sont capables de coloniser le maximum d'espace dans la rhizosphère et d'exploiter ses ressources nutritionnelles et ainsi, participer à la réduction des phyto pathogènes telluriques par compétition (**Lucy et al ., 2004**) La compétitivité des PGPR est largement plus supérieure quand elles ont des capacités spécifiques d'assimiler certains nutriments ou bloquer leur assimilation par les autres microorganismes (**Kempf et Wolf, 1989**) A titre d'exemple, certaines souches de Streptomycètes et Actinomycétales arrivent à coloniser la rhizosphère par la séquestration du fer (**Tokala et al ., 2002**), d'autres souches peuvent synthétiser des enzymes extracellulaires permettant d'utiliser des composés organiques comme source d'énergie ou à dégrader les phytotoxines (**Mccarthy et Williams,**

1992) En effet, des tests de compétitivité doivent être pris en considération lors de la sélection des souches de PGPR, afin de sélectionner celles ayant un pouvoir important de colonisation de la rhizosphère et /ou le rhizoplan des plantes inoculées (**Whipps, 2001**).

1.3.2.2.Par production des sidérophores

Les PGPR, notamment du genre *Pseudomonas*, sont connues pour leur faculté de produire des sidérophores dans le milieu (**Vasileva et Ilieva, 2007**) Ce sont des substances chélatrices du fer, avec une grande affinité au fer ferrique (Fe^{1++}). Elles améliorent sa disponibilité à leur profit en cas de carence du sol et rendent difficile son assimilation aux autres populations microbiennes déficientes en cet élément Ce phénomène est un aspect de compétition qui participe efficacement à l'antagonisme contre les agents phyto pathogènes en réduisant leurs effectifs dans le sol .

En outre, la plante peut facilement assimiler les complexes de sidérophores et ainsi promouvoir sa croissance (**Bar-Ness et al ., 1991 ;Budzikiewicz, 2004**). Les sidérophores peuvent fixer aussi d'autres métaux dans le sol tels que le magnésium,, le manganèse et le chrom (**Birch et Bachofen, 1990**). D'après d'autres études ,les PGPR peuvent extraire le fer des sidérophores formés par d'autres microorganismes (**Lodewyckx et al., 2002**).

1.3.2.3.Par antibiose

Les microorganismes telluriques produisent les antibiotiques qui sont des facteurs déterminants pour la vie dans un environnement aussi compétitif que la rhizosphère(**Mazzola et al ., 1992**). La production des antibiotiques est un critère très important de compétitivité des microorganismes aux autres populations microbiennes (**Compant et al.,2005**).C'est un critère de performance pour la promotion indirecte de la croissance végétale. li consiste à contrecarrer les agents phyto patogènes d'origine tellurique (**Maurhoferetal ., 1992**) .Une gamme très large antibiotiques produite par les PGPR a été découverte, entre autres celles produites par le genre *Pseudomonas* telles que l'amphisine, le 2,4-diacetylphloroglucinol (DAPG), le cyanure d'hydrogène, l'oomycine A, le phénazine, le pyoluteorine, le pyrrolnitrine, la tensine. la tropolone, et les lipopeptides cycliques (**De Souza et aL, 2003**).

La sélection des souches rhizobactériennes performantes pour la production des antibiotiques doit prendre en considération l'influence du stade de développement de la plante à inoculer et les conditions environnementales de sa rhizosphère. Il est recommandé donc

d'utiliser une gamme de souches sélectionnées pour des conditions différentes afin d'augmenter l'efficacité de la lutte contre plusieurs agents phytopathogènes dans des conditions rhizosphériques variables (**Petterson et Baath, 2004**).

1.3.2.4. production au cyanure d'hydrogène (HCN) Rol dans la croissance des plantes cyanide

Le cyanure d'hydrogène (HCN) est un métabolite secondaire qui fait partie des cyanides. Il peut être produit directement de la glycine ou des glycosides cyanogènes (**Bakker et Schippers, 1987**). La glycine est un acide aminé considéré comme le meilleur précurseur de la production des cyanides chez les microorganismes (**Askeland et Morrison, 1983**). Le HCN produit par les PGPR assure un rôle bénéfique pour la plante par son effet antagoniste contre les maladies des racines (**Defago et Haas, 1990**).

Cette production est largement variable selon les conditions environnementales dans lesquelles les rhizobactéries évoluent, notamment la composition des acides aminés dans la rhizosphère et les exsudats racinaires, les pratiques culturales, la disponibilité du fer ferrique dans le sol et la présence des sidérophores (**Knowles et Bunch, 1986**). Les travaux de **Voisard et al. (1989)** ont démontré l'efficacité des cyanides produits par des souches de *Pseudomonas fluorescens* dans la suppression des agents telluriques phytopathogènes.

1.3.2.5. Composés volatiles

Les rhizobactéries peuvent produire des substances organiques volatiles qui inhibent la croissance des agents phytopathogènes telluriques tels que les champignons (**Wheatley, 2002**). Parmi ces composés organiques volatiles figurent des terpénoïdes, des phénylpropanoïdes et des dérivés des acides gras (**Piechulla et Pou, 2003**). Selon **Ping et Boland (2004)**, certains de ces composés volatiles sont impliqués dans l'induction de la résistance systémique induite des plantes. D'autres, découverts chez *Azobacterium chroococcum* peuvent stimuler à la fois la croissance et la résistance systémique induite (**Ryu et al., 2004**). **Montealegre et al., (2003)** ont démontré l'efficacité des métabolites volatiles produits par des rhizobactéries à l'égard de *Rhizoctonia solani*.

Chapitre III

*Solubilisation du phosphates
par PGPR au bénéfique des
plantes*

1. Cycle du phosphore et ses différentes formes

Le phosphore est un élément nutritif indispensable pour le monde vivant, c'est un élément prélevé en plus faible quantité par les plantes en comparaison avec l'azote et le potassium, par contre il est d'une extrême importance pour la nutrition des plantes et la production de biomasse. (Holford,1997).

La disponibilité du phosphore influe fortement le processus par lequel les organismes photosynthétiques fixent le carbone inorganique au niveau de la biomasse cellulaire. Par conséquent, la connaissance du cycle du P est très importante pour la compréhension du bilan global du carbone ainsi que les différents cycles biogéochimiques. La flore microbienne du sol a un rôle essentiel dans le cycle du P, car elle établit un lien entre le réservoir de P dans l'environnement vivant et non vivant. (Holford,1997).

Certains microorganismes facilitent, en effet, l'altération, la minéralisation, et la solubilisation des différentes formes de P, rendant l'ortho phosphate à la disposition des communautés microbiennes et végétales. . Le mécanisme de participation microbienne dans ces processus varie d'un mécanisme passif à un mécanisme très actif. Le cycle du P englobe de nombreux réservoirs environnementaux vivants ou non vivants ainsi que différentes voies de transport.

En suivant le mouvement du P dans l'environnement, l'interaction entre le processus physique et biologique devient apparente. En effet, en plus d'agir comme des réservoirs de P dans l'environnement, les microorganismes contribuent à la transformation du P dans les autres réservoirs, comme dans le sol ou dans les environnements aquatiques environnants. Le P est un élément peu mobile dans le sol (Holford,1997).

Dans la croûte terrestre, l'abondance du P est de 0.04 à 0.12%, dont la majeure partie est sous sa forme inorganique minérale phosphatée et d'autres composés contenant du P organique. Dans les sols, le P inorganique est généralement associé à d'autres composés comme le Ca, Fe et Al dont chacun a des caractéristiques de solubilité unique qui détermine la disponibilité des phosphates pour la plante. Il faut noter que la mobilité et la biodisponibilité des phosphates dans les sols sont principalement limitées par l'adsorption (c'est-à-dire l'adhésion physique ou les liaisons des ions phosphates sur les surfaces d'autres molécules) et l'importance de la flore microbienne qui va transformer le P sous sa forme organique.

2. Mobilisation du phosphore dans le sol

Bien que le contenu en P total (inorganique et organique) des sols ne dépasse généralement pas les 0.12%, seulement 0.1% de ce P total existe sous la forme inorganique soluble facilement assimilable par les plantes (**Goldstein ,1994**). Quant au P organique, sa contribution au P total, peut dépasser les 50% dans certains sols. Il peut exister sous plusieurs formes comme les phytates et polyphosphates faiblement bio disponibles et formant des complexes avec des cations, à l'origine de certaines limitations en minéraux importants pour la nutrition des plantes (**Dalal,1977**). La déficience en P soluble limite la productivité végétale de plusieurs sols agricoles de manière universelle (**Arcand et Schneider ,2006**). Cependant la protection de l'environnement exige l'utilisation de pratiques durables de gestion, faisant usage de peu d'intrants chimiques. Par ailleurs, l'application de fertilisants s'effectue toujours sans tenir compte des mycorhizes et de la microflore présente au niveau de la mycorrhizosphère , ce qui conduit à des applications excessives et souvent néfastes. Ainsi, une énorme quantité de P est immobilisée dans les sols, ce qui présente un risque potentiel pour l'environnement si ce sol est transféré par érosion dans les cours d'eau. Dans cette partie nous nous intéresserons à détailler les différents procédés induits de transformation des phosphates comme la désagrégation, la solubilisation, la minéralisation et l'immobilisation.

2.1. La désagrégation

Dans la nature, certaines roches phosphatées s'altèrent suite à de nombreux processus écologiques. Les processus d'altération sont classés en deux principales catégories : la désagrégation mécanique et chimique. Dans la désagrégation mécanique, des procédés physiques (incluant l'expansion thermique, la pression, l'action hydraulique, la formation de cristaux de sel, le gel et le dégel...) peuvent causer une détérioration ou encore une fragmentation du matériel rocheux sans modifier sa composition chimique. En revanche, la désagrégation chimique (incluant divers produits chimiques) cause l'altération de la roche phosphatée en modifiant la structure chimique des minéraux à partir des quels la roche phosphatée est faite. Le processus de l'altération chimique comprend la dissolution, l'hydrolyse, l'hydratation et l'oxydoréduction (**Mackey et Paytan, 2009**).

2.2. La Solubilisation du phosphate

Après l'azote, le phosphore est l'élément le plus limitant pour les plantes qui sont capables seulement d'absorber ses formes solubles mono- et dibasiques (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-}) est présent sous forme de composés métalliques liés au fer, à l'aluminium, ou au silicium dans les sols acides ou avec le carbonate de calcium dans les sols alcalins. Les composés phosphatés insolubles peuvent être solubilisés par des acides organiques et une grande variété des enzymes phosphatases produites par des plantes et des micro-organismes. Parmi les bactéries possédant cette activité, les actinomycètes occupent une place de choix.

La solubilisation microbienne du phosphate joue un rôle important dans la conversion du P insoluble en P soluble. En effet, il a été démontré que certains microorganismes du sol sont impliqués dans la solubilisation des phosphates insolubles. Ces microorganismes bénéficient directement du P bio disponible nécessaire pour leur croissance. De même, d'autres organismes sont en mesure de profiter du P solubilisé, tels que les champignons et les plantes supérieures. Notons que ces microorganismes produisent des acides organiques et relâchent des protons, qui à travers leurs groupements carboxyliques, chélatent les cations fixés aux phosphates insolubles ce qui permet de les convertir en formes solubles (mono et dibasiques) (Mackey et Paytan, 2009).

2.3. La minéralisation

Dans le sol, les plantes et les détritiques animaux constituent un énorme réservoir de P organique qui est généralement indisponible pour la plupart des organismes vivants. Pour devenir biodisponible, le P contenu dans la matière organique doit tout d'abord être minéralisé en phosphate.

Le processus de minéralisation, au cours duquel les complexes de P organique sont convertis en minéraux phosphatés, est un processus modulé grâce à l'activité de certaines enzymes microbiennes, notamment les phosphatases qui sont classées en fonction du type des groupements carbonés liés aux phosphates qu'elles clivent.

Les phosphatases ont des exigences spécifiques vis-à-vis de certains substrats. Les catégories les plus courantes des phosphatases microbiennes contribuant à la minéralisation du P comprennent les phosphomonoestérases, les phosphodiesterases, les nucléases, et les nucléotidases, ainsi que les phytases (Mackey et Paytan, 2009).

2.4. L'immobilisation

Lors du processus de l'immobilisation, le P labile est séquestré et retiré de l'environnement pour une période de temps. Les procédés d'immobilisation peuvent être regroupés en deux catégories : La première catégorie, l'immobilisation transitoire ou l'assimilation cellulaire, comprend tous les processus de séquestration du P dans les cellules vivantes microbiennes et est rapidement réversible à la mort cellulaire. La deuxième catégorie appelée la formation de minéraux phosphatés, englobe les processus de minéralisation influencé par l'activité microbienne qui génèrent des minéraux contenant du P : il s'agit de la phosphogénèse (**Mackey et Paytan, 2009**) . Les bactéries, champignons, micro-algues, protozoaires représentent la majorité de la biomasse vivante sur Terre. La plupart d'entre eux sont organisés en biofilms et sont très utiles à l'équilibre de notre planète.

3.Mécanismes de solubilisation du phosphore

La solubilisation du phosphore est un processus complexe, qui est influencé par divers facteurs tels que la richesse nutritionnelle du sol, l'état physiologique et la croissance de la bactérie du sol (**Reyes et al.,1999**) .

Un certain nombre de théories ont été proposées pour expliquer le mécanisme de la solubilisation du phosphore inorganique par rhizobium, et les plus importantes d'entre elles sont la théorie de la production d'acides organiques et de la théorie des enzymes. Selon la production d'acides, le processus de solubilisation du phosphate par les bactéries solubilisant le phosphore (BSP) est due à la production d'acides organiques à faible poids moléculaire qui a été accompagnée par l'acidification du milieu, (**Goldstein, 1995**) et ces acides organiques peuvent chélater les cations avec leur groupes carboxyle et hydroxyle (**Kpombrekou et Tabatabai, 1994**). L'analyse des filtrats a montré la présence de nombreux composés organiques tels que l'acide malique, glyoxylique, succinique, fumarique, tartrique, acide butyrique céto alpha, oxalique, citrique, l'acide 2- céto gluconique et gluconique (**Kim et al., 1997**). Gerretsen (**1948**) ont montré que les rhizobia pourraient augmenter la nutrition phosphorique des plantes par l'augmentation de la solubilité de Ca-phosphates. Leur solubilité augmente avec une diminution du pH du sol. La solubilisation du phosphate est le résultat de l'effet combiné de la diminution du pH et de la production biologique des acides (**Fankem et al., 2006**). La sécrétion de différents types d'acides organiques, par exemple carboxylique (**Deubel et Merbach, 2005**) et l'abaissement du pH rhizosphérique (Lui et Zhu, 1988)

dissocient les formes liées au phosphate comme $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)$. Les effets de la diminution du pH et de synthèse des acides carboxyliques, mais la libération de protons ne peut pas être le seul mécanisme (**Deubel et al., 2000**).

La minéralisation du P organique du sol (Po) joue un rôle indispensable dans le cycle du phosphore d'un système agricole. Le P organique peut constituer 40 à 90% du P total du sol. Près de la moitié des micro-organismes dans le sol et les racines des plantes possèdent un potentiel de minéralisation du P sous l'action des phosphatases (**Tarafdar et al., 1988.**). les phosphatases acides utilisent des phosphates organiques comme substrat pour les transformer en une forme inorganique (**Beech et al., 2001**). Donc le principal mécanisme de la minéralisation des P organiques est la production de phosphatases acides (**Hilda et Fraga, 2000**). Ces enzymes hydrolysent la liaison monoester à partir de résidus organiques. La plus grande partie de phosphatases extracellulaires du sol provient de la population microbienne (**Dodor et Tabatabai, 2003**).

Deuxième partie

Partie expérimentale

Chapitre I

Présentation de la zone de prélèvement des PGPR

1.Présentation des zones de prélèvement des PGPR.

1.1. Situation géographique :

Les régions de prélèvement des isolats situent à la zone de Oued Righ commune el Meghair et la commune d'M'Rara la wilaya d'Eloued. la région de Oued Righ est une vaste dépression allongée entre El Goug ($32^{\circ} 54' N$) au Sud et Oum El Thiour ($34^{\circ} 9' N$) au Nord, elle est bordée à l'Ouest par le massif des Aurès, à l'Est par le grand alignement dunaire de l'Erg Orientale, au Nord par le Ziban et au Sud par les Oasis d'Ouargla. la largeur de la vallée varie entre 15 et 30 Km suivant les endroits (**HAFOUA ,2005**).

1.1.1. Relief :

La région de Oued Righ se situe au Bas Sahara, où les basses altitudes, notamment dans la zone des chotts au Nord, où les altitudes sont inférieures au niveau de la mer. les altitudes s'élèvent progressivement du Nord au Sud : négatives à Ourir et Méghaier (entre -16 et 10m), elles atteignent plus de 75m à Touggourt et plus de 80m à Témacine.

La pente générale est très faible, elle est de l'ordre de 1%. Cependant, le profil longitudinal de la vallée est très irrégulier : on note une succession de petits chotts communiquant entre eux par des seuils bas. Une coupe géologique transversale fait apparaître à la partie supérieure, constitué par une croûte gypso-calcaire ,recouverte de formations dunaires (Erg) (**HAFOUA ,2005**)

1.1.2. Climat :

Le climat de la vallée de Oued Righ est un climat désertique, chaud, de type saharien, caractérisé par des précipitations très irrégulières, par des températures élevées, accusant des amplitudes journalières et annuelles importantes, et par une faible humidité de l'air.

1.1.3. Température :

La région de Oued Righ est caractérisée par des températures très élevées .La température moyenne annuelle est de $22,53^{\circ}C$, avec $34,7^{\circ}C$ en juillet (le mois le plus chaud) $12,13^{\circ}C$ en décembre (le mois le plus froid), avec des extrêmes de $T_{Max} = 41,99^{\circ}C$ en juillet et en $T_{min} = 4,88^{\circ}C$ en janvier (**O.N.M. Touggourt, 2017**) .

1.1.4. Humidité de l'air :

Les valeurs de l'humidité relative de la région d'étude sont relativement homogènes, avec une moyenne annuelle de 45.70 % **(O.N.M. Touggourt, 2017)** .

1.1.5. Précipitations:

Les précipitations sont très rares et irrégulières à travers les saisons et les années. Cette région reçoit une moyenne annuelle de l'ordre de 56.08mm. ,Le minimum est enregistré au mois de juin , avec 0,17 mm et le maximum en janvier, avec 10.71 mm .

(O.N.M. Touggourt, 2017)

1.1.6. Insolation :

La moyenne annuelle l'insolation est de 3440.61 heures , le maximum est atteint au mois de Juillet avec une durée d'insolation de 363.64 heures et le minimum enregistré au mois de Décembre avec une durée de 236.97 heures. **(O.N.M. Touggourt, 2017)**

1.1.7. Évaporation :

L'évaporation annuelle est très importante dans la région de Oued Righ, le cumul annuel est de 2415.34mm. la valeur maximale est enregistrée en mois de Juillet avec 347.71 mm ; ceci concorde avec les hautes températures de ce mois. La valeur minimale est enregistrée en mois de décembre (81.77mm) **(O.N.M. Touggourt, 2017)**.

1.1.8. Sol

Les sols de la région de Oued Righ, sont d'origine allu-colluviale, encroûtés essentiellement à la surface par des apports éoliens sableux. Ce sont des sols généralement meubles et bien aérés en surface, en majorité salés ou très salés **(BENDAOU, 2012)**.

L'influence de la nappe phréatique est déterminante, et on observe parfois un horizon hydromorphe ou un encroûtement gypso-calcaire. La salure est de type sulfato-calcaire, dans les sols les moins salés (CE inférieur à 6 ds/cm) et du type chloruro-sodique, pour les sols les plus salés. Les sols sont généralement pauvres en matière organique, et à une trop rapide minéralisation. Le pH est alcalin, de l'ordre de 7.5 à 8.5 **(BENDAOU, 2012)**.

1.1.9. Texture :

Les sols contiennent une très forte proportion de cristaux de gypse, de toutes tailles(40% en moyenne). Le matériau des horizons, superficiels et peu profonds (moins de 70cm), est assez homogène. Son taux d'argile varie de 5 à 10 %, et sa texture est limono sableuse (le plus souvent) ou sablo-limoneuse (**HAFOUA, 2005**).

Chapitre II

Matériels et méthodes

1. Echantillonnage

On a ciblé deux périmètres agricole irriguée de la région de Oued Righ wilaya d'el oued le première périmètre agricole Elberkadjia Commune El Meghair et le deuxième Oued Rétém commune M'Rara à cause de la richesse de la région des calcaire qui peut fixer le phosphore et le rend inassimilable par le teste de effervescence par HCl

L'échantillonnage est le prélèvement d'une plante entière d'un champ de fève de 2 mois de plantation.

1.1. Le prélèvement des échantillons

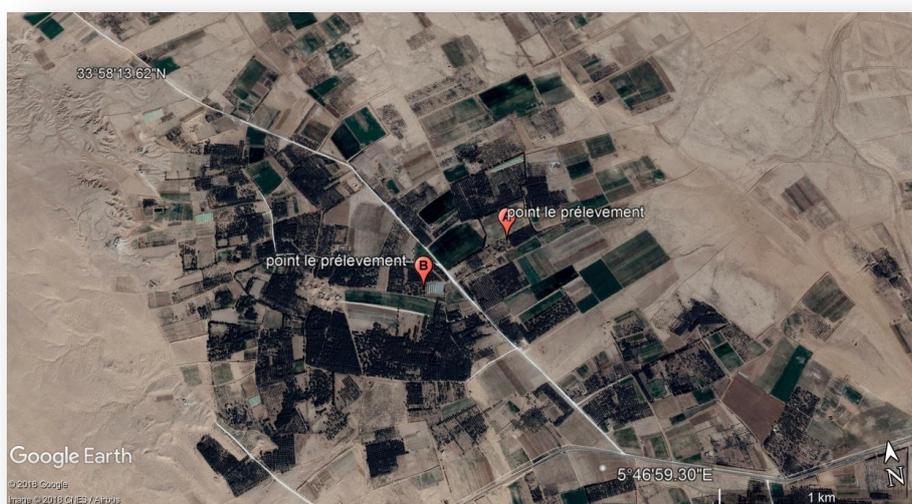


Figure 03 : les points du prélèvement des échantillons Périmètre agricole Elberkadjia
(Image Google Earth2018)

Les échantillons étudiés ont été prélevés le 06-02-2018, il s'agit de prélever toute la plante à partir des champs de fèves déjà cultivés depuis deux mois des deux Périmètres agricoles



Figure 04 : les échantillons prélevés du Périmètre agricole Elberkadjia

Le première Périmètres Elberkadja Commune El Meghaier **Figure 03**.situé à l'ouest de la wilaya d'El oued ,contiens des exploitations agricoles spécialisée du culture maraichère et phoeniciculture et céréaliculture

On a prèt **02**points de prélèvements. **les figure 04 et 05**, prélèvements :**A** (Latitude (33°57'28 .68" N et Longitude 5°46 .49.65 E)prélèvements : **B** (Latitude (33°57'21 .97" N et Longitude 5°46.30.44" E)



Figure 05 : les échantillons prélever de Périmètre Elberkadja

Le deuxième Périmètres Oued Rétem Commune M'Rara wilaya d'el oued **Figure 06**. situé à l'ouest de la wilaya d'El oued, contiens des exploitations agricoles spécialisée du culture maraichère et phoeniciculture et plasticulture .



Figure 06 : le points du prélèvement des échantillons Périmètre Oued Retem M'Rara (Image Google Earth2018) .

On prit une points de prélèvements C **Figure 07**

Latitude (33°28'40 .11" N et Longitude 5°40. 8. 09" E)



Figure 07 : le prélèvement des échantillons du Périmètre agricole Oued Retem

On a prêt les échantillons au laboratoire ces échantillons des plantes prélevée sont codé on (01, 02, 03 ,04, 05, 06, 07, 08 ,09, GAF, MOST) afin de suivre convenablement les différentes étapes d'isolements bactériens et connaitre l'origine de chaque isolat.



Figure 08: les échantillons prélever

2. Isolement des bactéries solubilisatrice de phosphate.

2.1. Préparation de milieu de culture

Le milieu de culture NBRIP (National Botanical Research Institute Phosphate) utilisé dans l'isolement ne contient pas de phosphore sauf sa forme insoluble Ca_3PO_4 donc toute prolifération des microorganismes doit solubiliser cette P donc on peut alors les cibler et isoler. La préparation de ce milieu de culture par la dilution de 10 g Glucose, 5g $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 0.25g MgSO_4 , 0.2g KCl, 0.1g $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 18g d'Agar agar, dans 01 litre d'eau distillée dans une fiole avec l'agitation sur une plaque chauffante pendant 10 mn puis mettre dans l'autoclave à 121°C pendant 21 minutes pour la stérilisation.

Le milieu de culture stérilisé laissé refroidir à 45°C puis couler les Boîtes Pétries dans les conditions stérile (à moins de 15cm du Bec benzène).

2.2. Ensemencement

On prend, à l'aide d'une balance de précision, un gramme de sol Rhizosphérique diluer dans un tube à essai contient 10ml d'eau physiologique stérile ce tube agité bien puis ensemer dans des boîtes Pétries contiennes de milieu de culture NBRIP.

A l'aide d'une pipette stérile on prend 1ml de la suspension du sol et on étale, dans les condition stérile, par une pipette pasteur préparé sous forme de râteau sur toute la surface du milieu de culture. Les boîtes Pétri ensemené sont incubé dans une étuve à 30°C pendant 72 heures.

2.3. Isolement

Les colonies qui solubilises le phosphore le rend transparent qui s'apparaisse sous forme d'un halo autour des colonies, le diamètre de le halo présente le pouvoirs solubilisateur de phosphore calcique de cet isolat.

2.4. Test de solubilisation du phosphate calcique

les colonies qui présentent des halo transparent ont été sélectionnée isolé et repiqué dans des nouveaux boîtes Pétri contiennes de milieu de culture NBRIP mais ensemenée par la technique de points. Les derniers boîtes sont incubé aussi a 30°C pendant 72 heures puis la lecture ce fait par mesure à l'aide d'une règle le diamètre de le halo et le diamètre la colonie puis calcule de l'indice de solubilisation .

$$I = \text{diamètre du halo de solubilisation} / \text{diamètre de colonie}$$

2.5. Purification des bactéries

Après incubation, des repiquages successifs de colonies obtenues, sont effectués sur milieu BN(2g extrait de levure,1g extrait de viande,5g peptone,5g NaCl,15g Agar bactériologique dans 01litre d'eau distillée) jusqu'à l'obtention de cultures bactériennes pure

2.6.Conservation des souches

Les souches des Rhizobacteries pures ont étéensemencée dans des tubes incliné contiens le milieu de culture GN et incubé pendant 24h à 30°C puis conservées au réfrigérateur à -10 °C ,

3. Effet de l'inoculation du sol sur la croissance de la fève

3.1.Préparation de l'inoculation

Les isolats intéressante qui ont présentées une forte solubilisation du Ca_3PO_4 sont incubé dans le milieu de culture Bouillon Nutritif(BN) dans des flacons de 250ml contient 100ml de BN ensemencer par un tube a essais contient 5ml de suspension Bactérienne de 24 heure d'incubation par l'une des isolats performantes, les suspension bactériennes obtenue sont ensuite ajustée a l'absorption par Spectrophotomètre a 0.8 absorption a 620nm.

3.2.préparation du sol

3.2.1 .prélèvement

le solubilisé pour la plantation est élevé de la même région de l'isolement de bactéries stérilisé et mit en pot pour accueillir les plantes .

3.2.2 la stérilisation

On a stérilise le sol al 'aide d'un autoclave simple(cocote de la cuisine)On met le sol dans des bouteille stérilisable set l'eau puis on chauffe à l'aide d'un fourneau de cuisine, une fois l'autoclave commence a soufflé on complet 21 minutes et on arrêt l'opération.

3.2.3.Mise en pots :

3.2.3.1.matérielle végétale

Les grains utilisée sont de la fève (*Vicia faba*) de la variété violetta (italie) obtenue du marché .

3.2.3.2. Plantation

Les graines sont rincées dans la suspension Bactériennes pendant 1min, puis placées à raison d'une graine par pot. L'expérience est réalisée dans une serre en plastique, chaque pot est inoculé par 30ml de la suspension Bactériennes.

On a fait 72pots chaque pot contient 01kg de sol suivant l'organisation suivante

09 pots témoin stérile.

09 pots témoin non stérile .

09 pots de la souche 7.2 stérile .

09 pots de la souche 7.2 non stérile .

09 pots de la souche MOST stérile .

09 pots de la souche MOST non stérile .

09 pots de la souche GAF stérile .

09 pots de la souche GAF non stérile .

3.2.3.3. L'irrigation

D'abord en mesure la capacité de rétention du sol par l'irrigation d'un pot contenant 01kg du sol sec , avec une quantité suffisante d'eau puis en mesure la quantité d'eau infiltré, la quantité initiale moins la quantité infiltré donne la capacité de rétention du sol qui est de 250ml.

Tous les pots sont irrigués par l'eau de puits (ne contient pas de chlore) à raison de 250ml (la capacité de rétention du sol) , par pot du premier jour de la mise en pot jusqu'à le dernier jour.

4. Mesures de la croissance

4.1. La longueur de la partie aérienne

La longueur de la partie aérienne est mesurée à partir du col jusqu'à l'extrémité de la plante par une règle graduée .

4.2. Longueur des feuilles

A l'aide d'une règle graduée, on a mesuré la plus grande feuille de chaque plante.

4.3. Nombre de racines

Ce paramètre est mesuré en faisant le comptage de l'ensemble des racines de chaque plante.

4.4. Longueur des racines

Les racines sont lavées à l'eau pour éliminer toutes les particules du sol, puis on mesure la longueur à partir du col jusqu'à l'extrémité de la racine.

4.5. Le poids frais des plantes

On pèse les plantes séparément à l'aide d'une balance de précision. Le poids frais des deux (la partie aérienne et la partie racinaire)

4.6. Le poids sec des plantes

On met les parties des plantes à l'étuve pendant 24 heures à une température de 105°C. Pour sécher sur du papier aluminium. Nous avons séparé la partie racinaire de la partie aérienne pour qu'on les pèse séparément à l'aide d'une balance de précision.

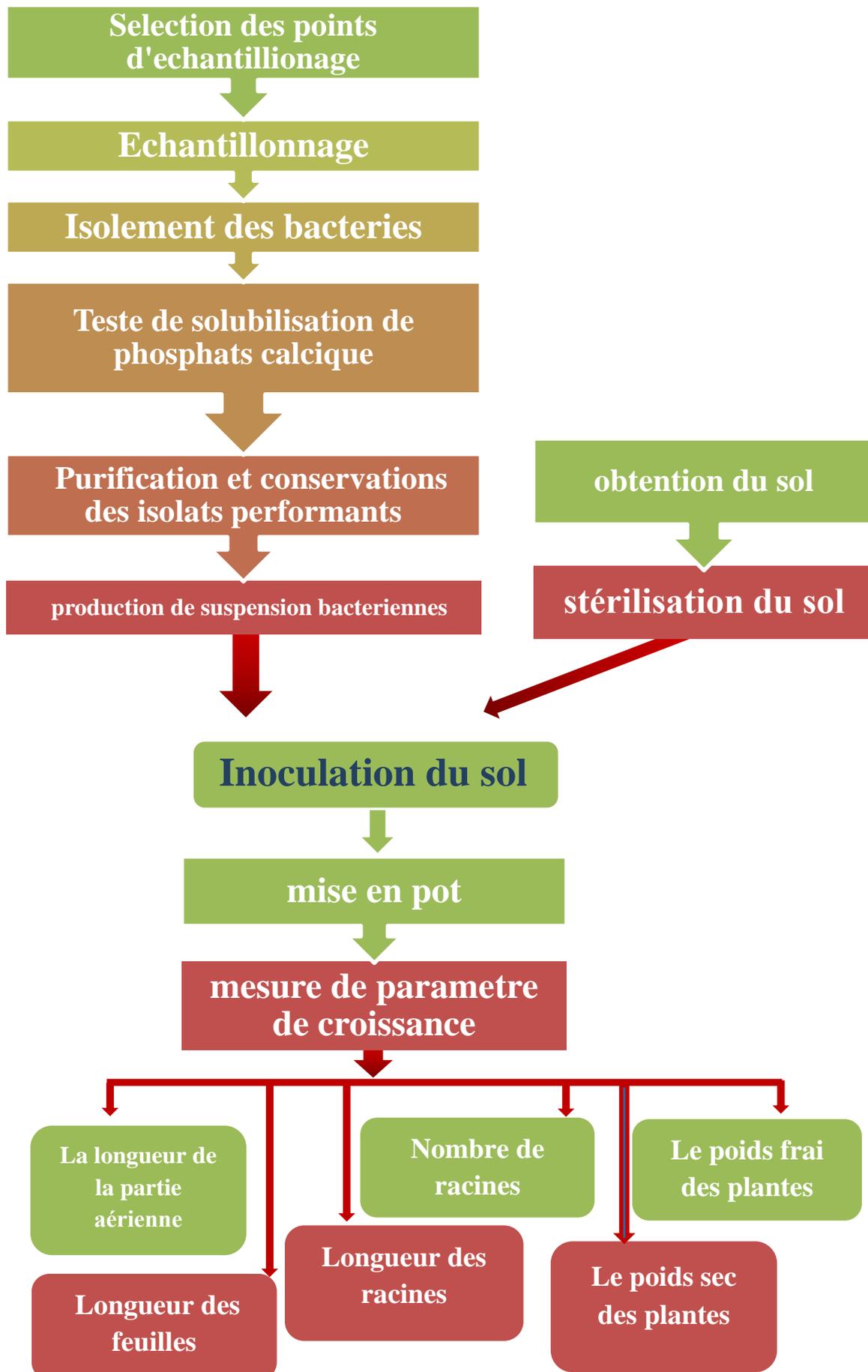


Figure 09 : Diagramme de la partie expérimental

Chapitre III

Résultats et discussion

1. Isolement des bactéries solubilisatrice de phosphate.

L'utilisation de Milieu NBRIP permet de cibler l'isolement des bactéries phospho solubilisatrice qui présente un halo transparent autour des colonies .

Chaque échantillon est ensemencé dans Boîte Petrie ,d'après chaque Boîte Petrie on cible et isolée une ou plusieurs isolats des bactéries phospho solubilisatrice .

Les isolats sont nommé comme suivant :

L'isolat GAF a l'origine de prélèvement **A** de périmètre Elberkadjia commune Meghaier-

L'isolat MOST a l'origine de prélèvement **B** de périmètre Elberkadjia commune Meghaier-

L'isolat 7.2 a l'origine de prélèvement **C** de Périmètres Oued Rétem commune M'Rara

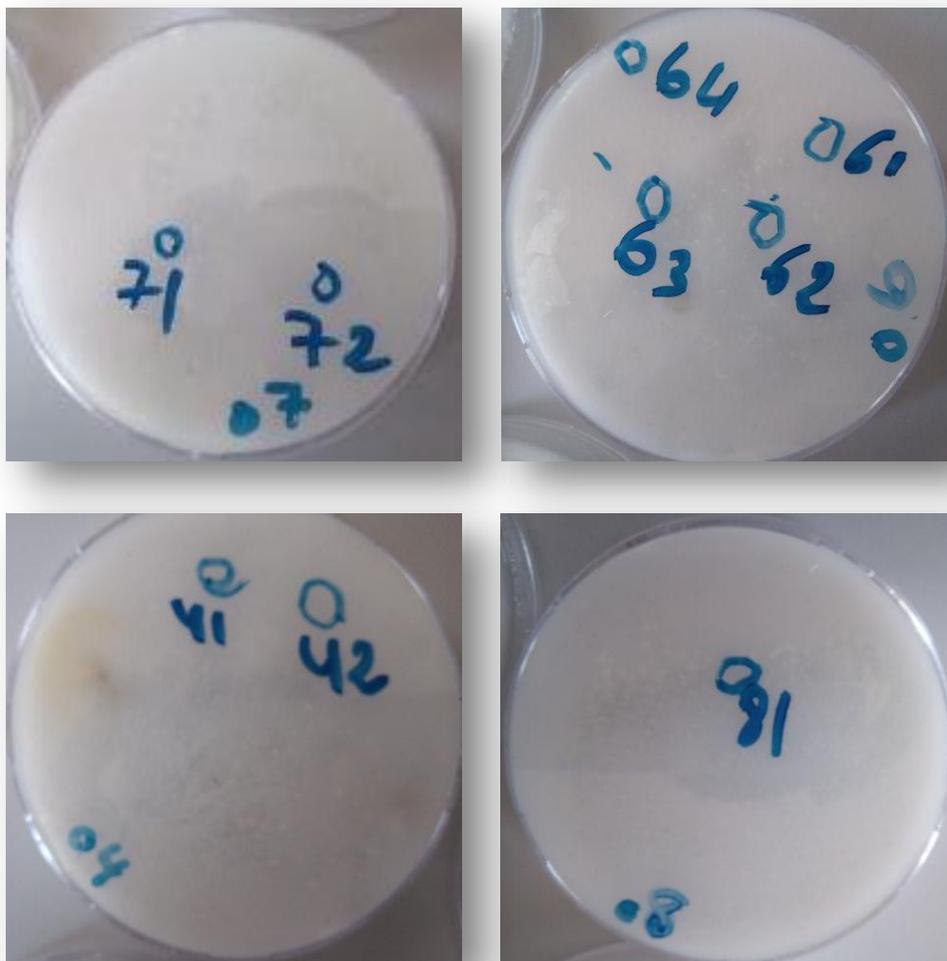


Figure 10: les isolats obtenus

1.1. Test de solubilisation

Chaque isolat est ensemencé à nouveau dans des Boîtes Pétries contiens milieu **NBRIP** par la technique de points.

pour évaluer l'indice de solubilisation de phosphore est les résultats présentés dans le **tableau :04**

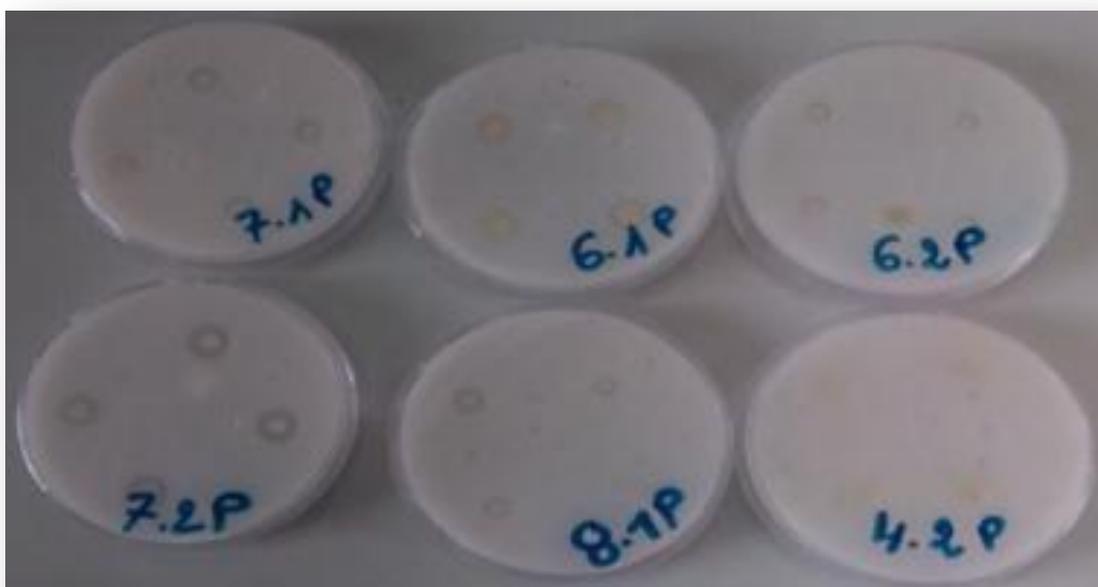


Figure 11: le test de l'indice de solubilisation

Tableau 04 : le diamètre des halo .

Isolat	Diamètre de la colonie (mm)	Diamètre du halo de solubilisation(mm)	Indice
P.4.2	5	7	1.4
P.6.1	7	9	1.28
P.6.2	4	6	1.5
P.7.1	6	7	1.16
P.7.2	5	13	2.6
P.8.1	6	10	1.66

1.2. Isolement et purification et conservation

Après repiquages successifs les boîtes ensemencer ,les isolats obtenu 7.2 ,GAF , MOST effectués sur milieu BN et incubé à 30°C pendant 24 heures .

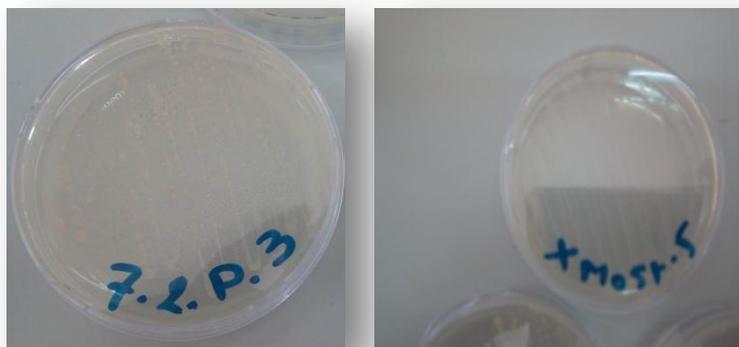


Figure12 : l'ensemencement des isolats sur le milieu BN pour purification.

1.3. Préparation de l'inoculation

1.3.1. Les étapes de l'inoculation

Chaque tube à essais qui contient 5ml de suspension Bactérienne est agitée puis placé dans l'agitateur (agitation=200 t/min . température=30°C) pendant 24h .

les tubes à essais qui contiennent les suspensions Bactériennes sont versés remplis dans des flacons de 250 ml contenant 100ml de BN, puis placé dans l'agitateur (agitation=200 t/min à température=30°C) pendant 48h.



Figure13 : les étapes de préparation de l'inoculum (laboratoire faculté sciences et de la technologie .

2. préparation du sol

2.1.prélèvement du sol et stérilisation et mis en pots

Une quantité du 72Kg du sol utilisé pour la plantation est élevé de la même région de l'isolement de bactéries la moitié du sol est stérile



Figure14: le prélèvement du sol



Figure15: la stérilisation du sol

2.2.matérielle végétale

Le matériel végétale utilisé dans notre travail est les grains de la fève (*Vicia faba*) de la variété Violetta (Italie) du marché local cette variété est choisi parce que est la plus cultivé dans la région.



Figure16 : les grains de la fève utilisée pour la plantation

2.3. La Plantation :

La plantation faite le 20-03-2018 on place les 72 pots chaque un est inoculé par 30ml de la suspension Bactérienne Sauf les pots des témoin correspondant .La culture est faite dans une serre en plastique.



Figure17 : le placement des pots dans la serre



Figure18 : la fève en plein croissance

3.Paramètres de croissance de plante

Après 50 jours de culture les plantes sont arraché et laver par l'eau puis on a mesurer les différents paramètres biométriques (Annexe).

3.1. Longueur des tiges(cm)

A l'aide d'une règle graduée on mesure la longueur de la partie aérienne mesurée à partir du col jusqu'à l'extrémité de la plante.



Figure19 : la mesure du longueur de tige .

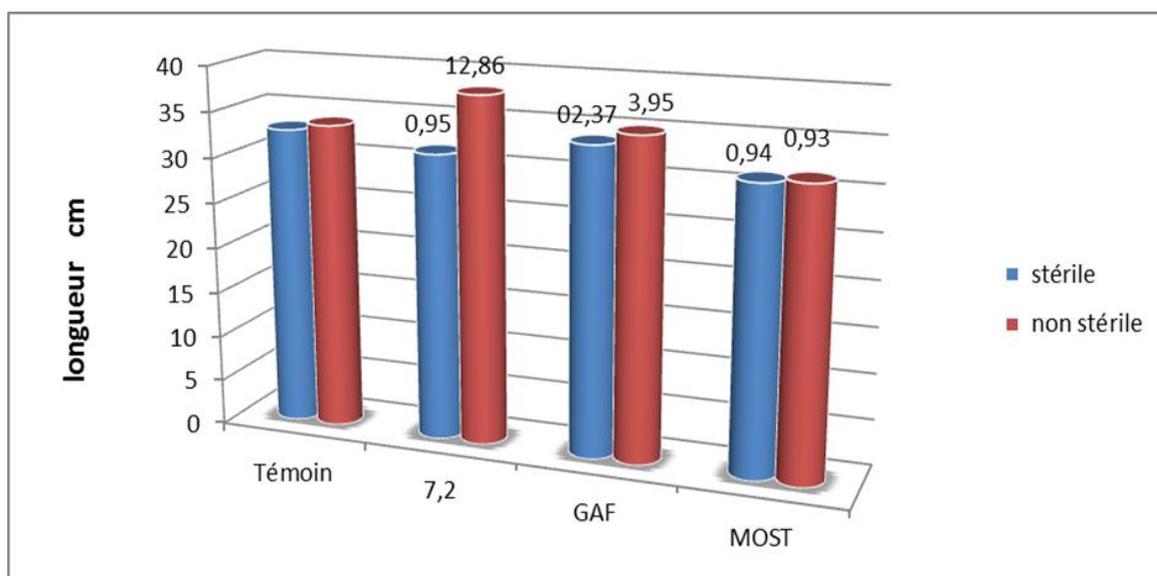


Figure20 : la longueur des tiges en pourcentage

L'inoculation du sol par l'isolat 7.2 à favoriser la croissance de la plante en longueur de tige de 12.86% et l'isolat GAF de 03.95%. dans le sol non stérile , et l'inoculation du sol par l'isolat GAF a favoriser la croissance de la plante en longueur de tige dans le sol stérile de 02.37%.

L'analyse de variance a montré un effet non significatif par les isolats sur la croissance de la fève en longueur des tiges.(Annexes)

Ces résultats sont convenables avec celle-ci trouvé par ,**VandanaKatiyar, ReetaGoel (2003)** sur la croissance de la fève inoculée par des souches de *Pseudomonas fluorescens* cette inoculation a stimulé la croissance de cette plante de 06 à 21.5% dans le sol stérile et de 07.9 à 24.4 % dans le sol non stérile

3.2. Longueur des racines(cm)

A l'aide d'une règle graduée on mesure la longueur de la partie racinaire mesurée à partir du col jusqu'à l'extrémité de la racine.



Figure 21 :la mesure du longueur de racine .

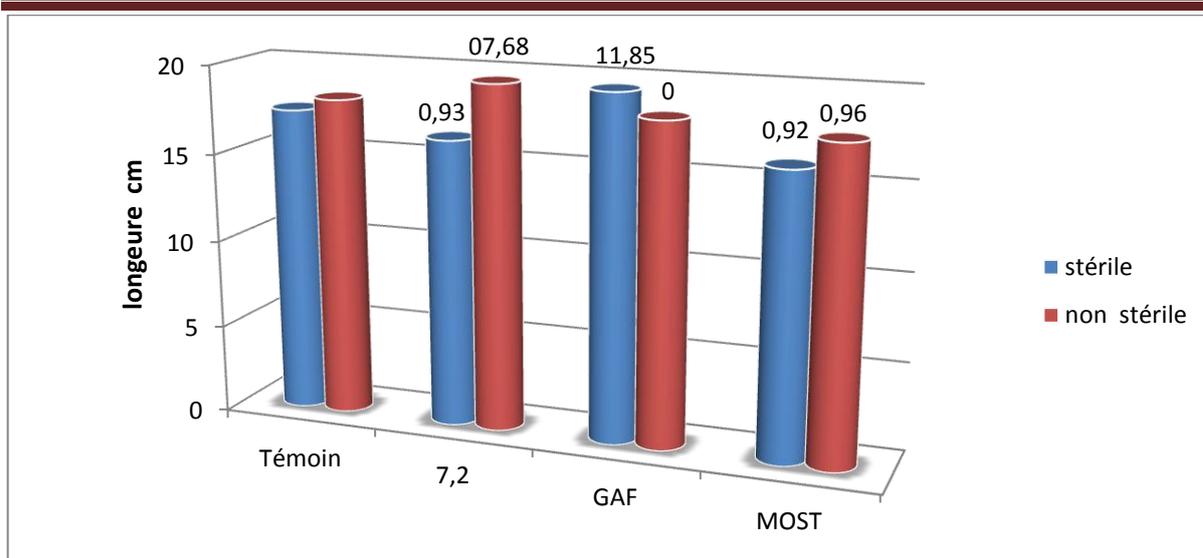


Figure22: la longueur des racines en pourcentage

L'inoculation du sol par l'isolat GAF à favoriser la croissance de la plante en longueur de racine de 11.85% dans le sol stérile, par contre l'isolat 7.2 à favoriser la croissance de racine dans le sol non stérile de 07.68%.

L'analyse de variance a montré un effet non significatif par les isolats sur la croissance de la fève en longueur des racines. (Annexes)

Ces résultats sont convenables avec celle-ci trouvée par **Vandana Katiyar, Reeta Goel (2003)** sur la croissance de la fève inoculée par des souches de *Pseudomonas fluorescens* cette inoculation a stimulé la croissance de cette plante de 11.4 à 30% dans le sol stérile et de 04.5 à 20% dans le sol non stérile.

3.3. Le nombre des racines

On compte le nombre de l'ensemble des racines de chaque plante.



Figure23 : le compte des racine

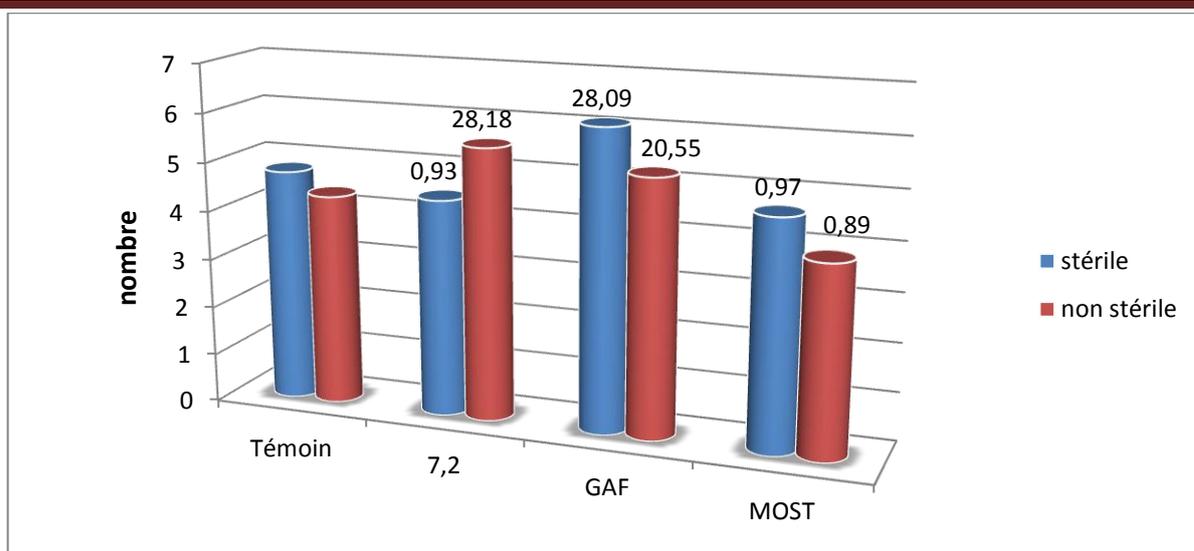


Figure24 : le nombre des racines en pourcentage

L'inoculation du sol par l'isolat 7.2 à favoriser la croissance de la plante en nombre des racines de 28.18% et l'isolat GAF de 20.55%.dans le sol non stérile, et l'isolat GAF à favoriser la croissance de la plante en nombre des racines de 28.09%, dans le sol stérile .

L'analyse de variance a montré un effet non significatif de l'inoculation sur la croissance de la fève en nombre des racines.(Annexes)

3.4.La longueur des feuilles(cm)

la mesure de la plus grande feuille dans la plante .

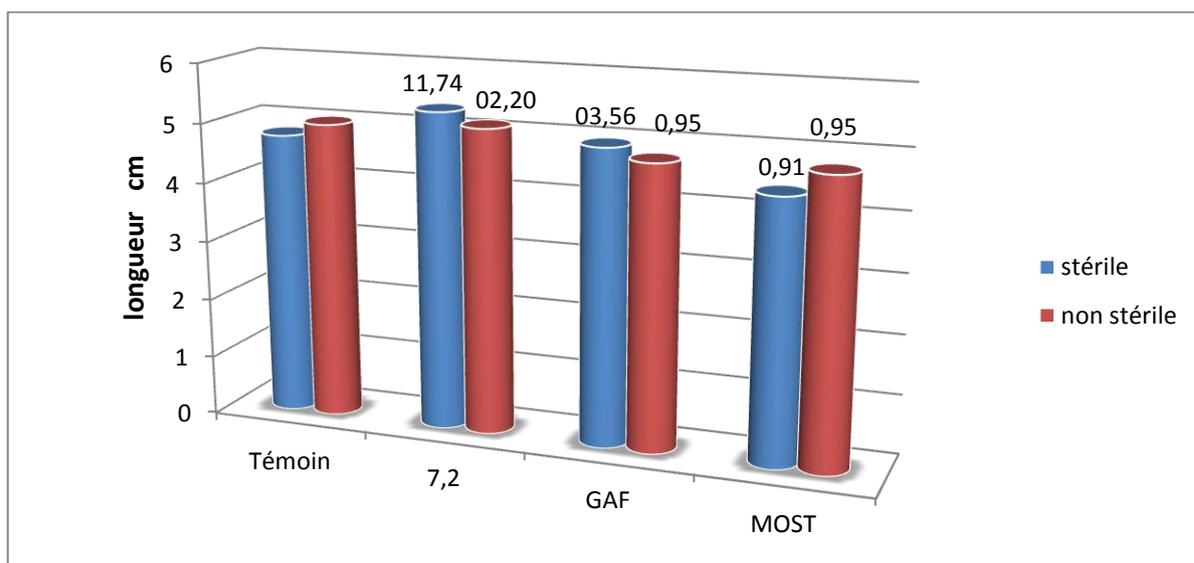


Figure25 : la longueur des feuilles en pourcentage

L'inoculation du sol par l'isolat 7.2 à favoriser la croissance de la plante en longueur des feuilles de 11.74% et l'isolat GAF a favorise de 03.56%.dans le sol stérile ,par contre l'inoculation du sol par l'isolat 7.2 à favoriser la croissance de la plante en longueur des feuilles de 02.20 % dans le sol non stérile.

L'analyse de variance a montré un effet non significatif de l'inoculation sur la croissance de la fève en longueur des feuilles.(Annexes)

3.5.Le poids frais de la partie aérienne (g)

A l'aide d'une balance de précision. En a pesé le poids frais de la partie aérienne de chaque plante.



Figure26 : la pesée du poids frais de la partie aérienne .

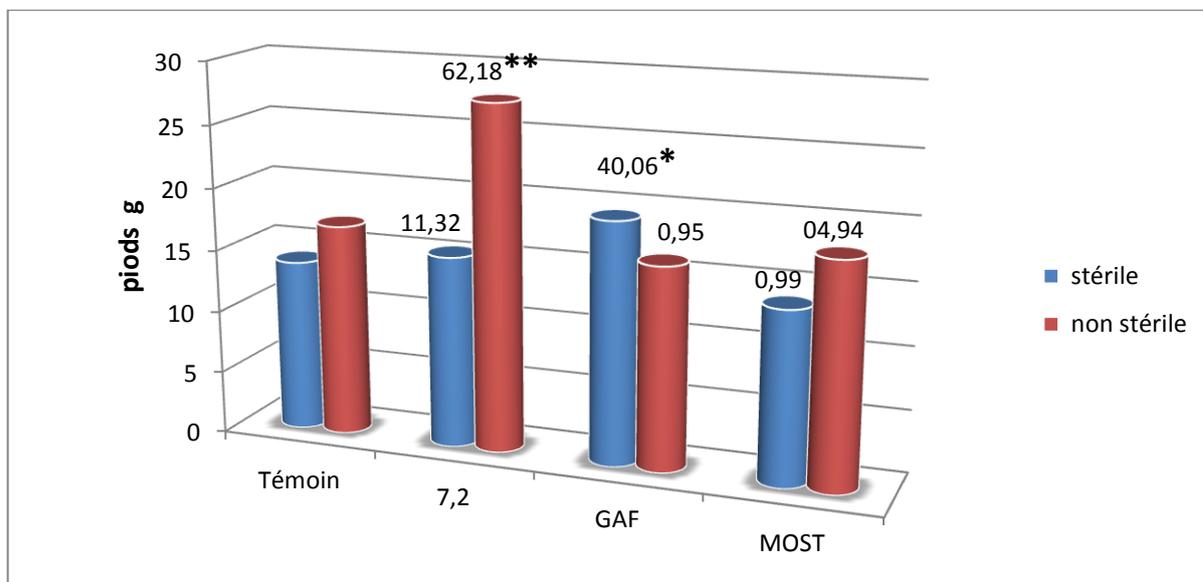


Figure27 : le poids frais de la partie aérienne en pourcentage

L'inoculation du sol par l'isolat 7.2 à favoriser la croissance de la plante en poids frais de la partie aérienne de 62.18 %.et l'isolat MOST de 04.94 %.dans le sol non stérile ,par contre l'isolat GAF à favoriser la croissance de la plante en poids frais de la partie aérienne de 40.06% et l'isolat 7.2 de 11.32% dans le sol stérile .

L'analyse de variance a montré un effet hautement significatif de l'inoculation sur la croissance de la fève en le poids frais de la partie aérienne de l'isolat 7.2 dans le sol non stérile et un effet significatif de l'isolat GAF dans le sol stérile et un effet non significatif dans les autres isolats .(Annexes)

3.6.Le poids frais de la partie racinaire (g).

A l'aide d'une balance de précision. En pesée le poids frais de la partie racinaire .



Figure28 : la pesée du poids frais de la partie racinaire.

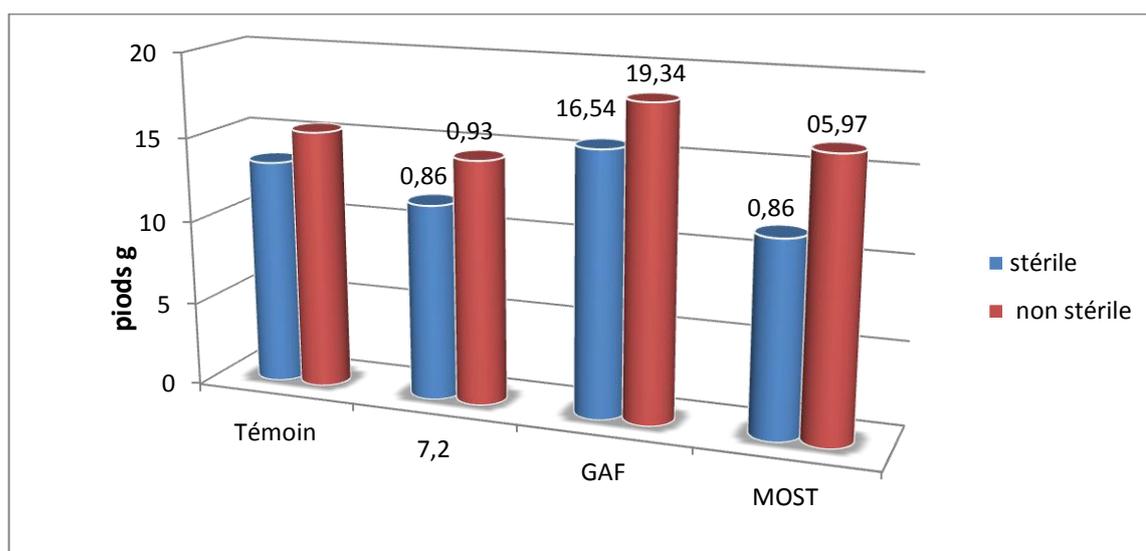


Figure29 : le poids frais de la partie racinaire en pourcentage

L'inoculation du sol par l'isolat GAF à favoriser la croissance de la plante en poids frais des racines de 19.34% et l'isolat MOST de 05.97% .dans le sol non stérile ,par contre l'isolat GAF à favoriser la croissance de la plante en poids frais des racines de 16.54% dans le sol stérile .

L'analyse de variance a montré un effet non significatif de l'inoculation par les isolats sur la croissance de la fève en poids frais de la partie racinaire .(Annexes)

3.7.Le poids sec de la partie aérienne(g)

A l'aide de la balance de précision. En pesée le poids sec de la partie aérienne de chaque plante .

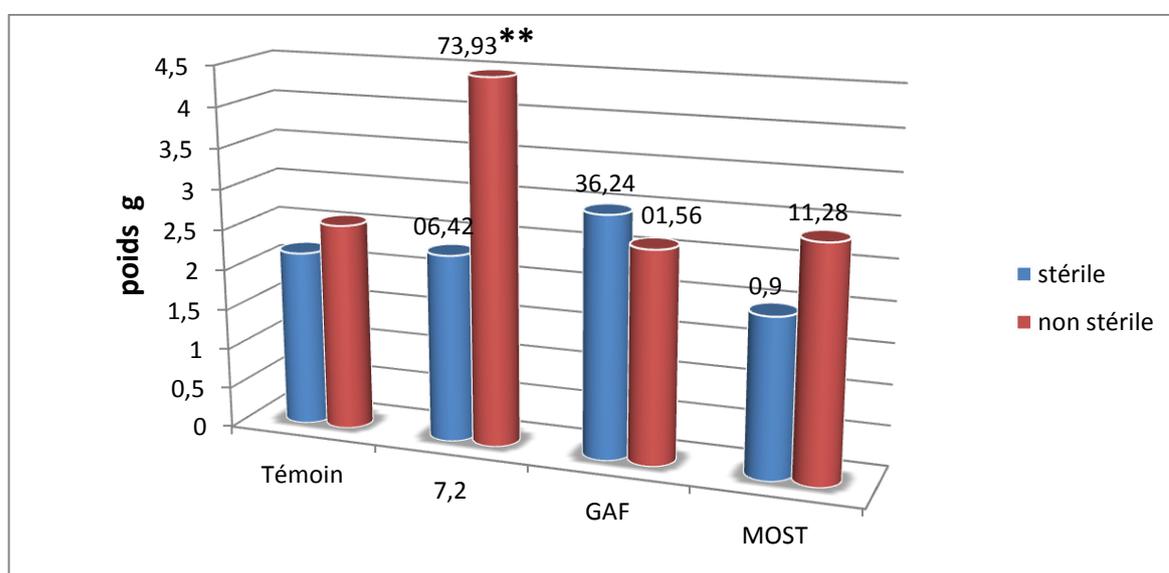


Figure30 : le poids sec de la partie aérienne en pourcentage

L'inoculation du sol par l'isolat 7.2 à favoriser la croissance de la plante en poids sec de la partie aérienne de 73.93% et l'isolat GAF de 01.56 % et l'isolat MOST de 11.28% dans le sol non stérile , Mais dans le sol stérile l'isolat GAF à favoriser la croissance de la plante en poids sec de la partie aérienne de 36.24 % et l'isolat 7.2 de 06.42 % .

Ces résultats sont convenables avec celle-ci trouvé par , **A. Vikram and H. Hamzehzarghani(2008)** sur la croissance de la Pois chiches verts inoculée par des isolats des rhisobactéries cette inoculation a stimulé la croissance de cette plante de 02.18 à 16.97% L'analyse de variance a montré un effet hautement significatif de l'inoculation par l'isolat 7.2 dans le sol non stérile sur la croissance de la plante en poids sec de la partie aérienne et un effet non significatif chez les autres isolats. .(Annexes)

3.8. Le poids sec de la partie racinaire(g)

A l'aide de la balance de précision. En pesée le poids sec de la partie racinaire .



Figure31 : la pesée du poids sec de la partie racinaire

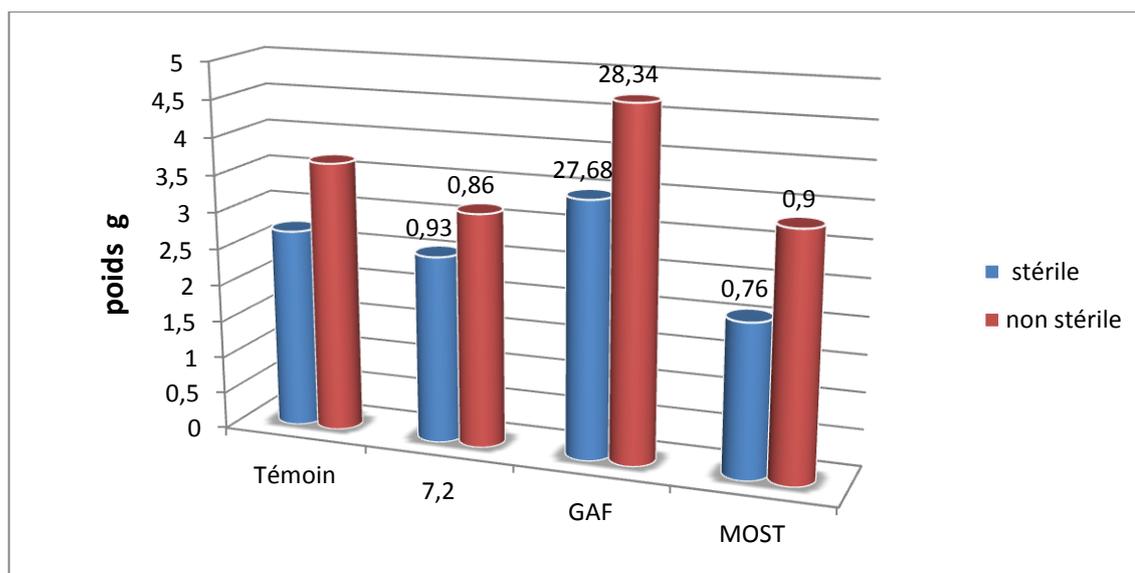


Figure32 : le poids sec de la partie racinaire en pourcentage

L'inoculation du sol par l'isolat GAF à favoriser la croissance de la plante en poids sec de la partie racinaire de 28.34% dans le sol non stérile et de 27.68 % dans le sol stérile.

Ces résultats sont convenables avec celle-ci trouvé par , **A. Vikram and H. Hamzehzarghani(2008)** sur la croissance de la Pois chiches verts inoculée par des isolats des rhisobactéries cette inoculation a stimulé la croissance de cette plante de 02.43 à 43.90%.

L'analyse de variance a montré un effet non significatif de l'inoculation par les isolats sur la croissance de la fève en poids sec de la partie racinaire .(Annexes).

Conclusion

Conclusion

Les bactéries solubilisant le phosphate PGPR constituent un groupe de bactéries favorisant la croissance des plantes surtout les légumineuses ,qui jouent un rôle majeur dans la nutrition des plantes en améliorant la disponibilité par la solubilisation du phosphate En effet, ces dernières décennies, plusieurs études se sont intéressées au rôle que pourraient jouer ces microorganismes.

La sélection et isolement des isolats BPS d'après les isolats cultivés de la région de Oued Righ ,a fructifier a des isolats très intéressantes arrive à un indice de solubilité de 2.6 pour l'isolat 7.2

L'utilisation des isolats les plus performante vis-à-vis la solubilisation du phosphate calcique ont été utilisé pour inoculé le sol a fin de voire l'effet sur la croissance de la fève on paramètre biométrique montré.

- l'isolat 7.2 à favoriser la croissance de la plante en longueur de tige de 12.86% mieux que l'isolat GAF de 03.95%.dans le sol non stérile , et l'isolat GAF a 02.37 % dans le sol stérile .
- l'isolat GAF à favoriser la croissance de la plante en longueur de racine de 11.85 % dans le sol stérile , mieux que l'isolat 7.2 à 07.68 % dans le sol non stérile .
- l'isolat 7.2 à favoriser la croissance de la plante en nombre des racines de 28.18% mieux que l'isolat GAF de 20.55%.dans le sol non stérile, et l'isolat GAF de 28.09%, dans le sol stérile .
- l'isolat 7.2 à favoriser la croissance de la plante en longueur des feuilles de 11.74% mieux que l'isolat GAF de 03.56%.dans le sol stérile ,par contre l'inoculation du sol par l'isolat 7.2 de 02.20 % dans le sol non stérile .
- l'isolat 7.2 à favoriser la croissance de la plante en poids frais de la partie aérienne de 62.18 % mieux que l'isolat MOST de 04.94 % dans le sol non stérile , et l'isolat GAF de 40.06% et l'isolat 7.2 de 11.32% dans le sol stérile .
- l'isolat GAF à favoriser la croissance de la plante en poids frais des racines de 19.34% mieux que l'isolat MOST de 05.97% .dans le sol non stérile ,et l'isolat GAF de 16.54% dans le sol stérile .
- l'isolat 7.2 à favoriser la croissance de la plante en poids sec de la partie aérienne de 73.93% mieux que l'isolat GAF de 01.56 % et l'isolat MOST de 11.28% dans le sol non stérile , Mais dans le sol stérile l'isolat GAF à favoriser la croissance de la plante en poids sec de la partie aérienne de 36.24 % mieux que l'isolat 7.2 de 06.42 % .

- l'isolat GAF à favoriser la croissance de la plante en poids sec de la partie racinaire de 28.34% dans le sol non stérile mieux que de 27.68 % dans le sol stérile .

ces résultats positifs sur la croissance en paramètres biométriques de la fève suite à l'inoculation du sol par nos isolats peut être due au pouvoir de ces bactéries à solubiliser le phosphore calcique.

Ceci ouvre les perspectives suivantes :

- Refaire l'expérience dans des conditions climatiques contrôlées;
- Compléter l'expérience par des essais *in-situ* ;
- Continuer le travail par l'identification des isolats performants .

*Références
bibliographiques*

- **Ahemad, M., Khan, M. S., 2010** .Ameliorative effects of Mesorhizobium sp. MRC4 on chickpea yield and yield components under different doses of herbicide stress.pesticide Biochemistry and physiology98(2)183-190
- **Alström, s., 1991**. Induction of disease resistance in common bean susceptible to halo blight bacterial pathogen after seed bacterization with rhizosphere *pseudomonads*. Journal of Genetic and Applied Microbiology 37,495-501
- **Arcand et Schneider 2006**Arcand MM, Schneider KD (2006) Plant- and microbial-based mechanisms to improve the agronomic effectiveness of phosphate rock: are view. Anais da Academia Brasileira de Ciancias 78:791-807.
- **Askeland, R.A., Morrison, S.M., 1983**. Cyanide production by *Pseudomonas fluorescens* and *Pseudomonas a eruginosa*. Applied and Environmental Microbiology ,Bacterial volatiles induce systemic resistance in Arabidopsis. Plant Physiology 134,1017-1026.
- **Bakker, A.W., Schippers, B., 1987**. Microbial cyanides production in the rhizosphere in relation to potato yield reduction and *Pseudomonas* spp.mediated plant growth stimulation .Soil Biology and Biochemistry 19,451-457
- **Barazani, O., Friedman, J., 2001**. Allelopathic bacteria and their impact on higher plants. Critical Reviews in Microbiology 27,41-55
- **Bar-Ness, E., Chen, Y., Hadar, Y., Marschner, H., Römheld, V., 1991** .Siderophores of *Pseudomonas putida* as an iron source for dicot and monocot plants. Plant and Soil 130,231-241
- **Beech, I. B., Paiva ,M., Caus ,M., Coutinho ,C,(2001)**. Enzymatic activity and within biofilms of sulphate-reducing bacteria. In: P. G. Gilbert, D. Allison, M. Brading, J. Verran and J. Walker , Biofilm Community Interactions:chance or necessity BioLine, Cardiff, UK. Pp.231-239.
- **Benizri, E., Baudoin, E., Di Battista-Leboeuf, C., Guckert, A., 2001**.Des bactéries pour la santé des plantes. Biofutur 210,52-56.
- **Bennani, F., Badraoui, M., Mikou, M., (2005)**. Effect of humicmatter on soil phosphor rusavailability no23 ,p 9-14
- **Birch, L., Bachofen, R., 1990**.Complexing agents from microorganisms. Experientia 46,827-834
- **Bliefert C et Perraud R., 2001**. Chimie de l'environnement : Air, eau; Sols, déchets. Ed. De Boeck université. Paris.496p.

- **Bora, T., Ozaktan, H., Gore, E., Asian, E., 2004.** Biological control of *Fusarium oxysporum* f.sp. *melonis* by wettable powder formulations of two strains of *Phytopathologie* **152**,471-475
- **Boyeldieu J., 1991.** Produire des grains oléagineux et protéagineux. Eds. TEC & DOC. Paris.234p.
- **Budzikiewicz, H., 2004.** Siderophores of the Pseudomonadaceae sensu stricto (fluorescent and non-fluorescent *Pseudomonas* spp.). *Fortschritte der Chemie Organischer Naturstoffe*.87,181-237.
- **Chaux, C., and Foury, C.L. (1994).** Production légumière : légumineuses potagères, légumes fruits. Ed. TEC et DOC. Lavoisier, 5&3pp.
- **Compant, S., Reiter, B., Sessitsch, A., Nowak, J., Clement, C., Barka, E.A., 2005.** Endophytic colonization of *Vitis vinifera* L. by plant growth-promoting bacterium *Burkholderia* sp. Strain PsJN. *Applied and Environmental Microbiology* **71**,1685-1693.
- **Couplen, A., and Marm, C. (2009).** Jardinez au naturel. Le jardin plus bio facile, 249 pp.
- **Dalal 1977** Dalal RC (1977) Soil organic phosphorus. In: Brady NC (ed) *Advances in agronomy*, vol29. Academic Press, Inc., New York. pp83-113
- **Davet P., 1996.** Vie microbienne du sol et production végétale. Ed. Quae. Paris.383p.
- **De Souza, J.T., Mazzola, M., Raaijmakers, J.M., 2003.** Conservation of the response regulator *gacA* in *Pseudomonas* species. *Environmental Microbiology* **5**,1328-1330.
- **Defago, G., Haas, D., 1990.** Pseudomonads as antagonists of soilborne plant pathogens: mode of action and genetic analysis. *Soil Biochemistry* **6**,249-291.
- **Delory I., Pedallu C., Vanpeene. Bruhier S., 2003.** Réaménagement forestier des carriers de granulats. Ed. Quae.319p.
- **Deubel, A., Merbach, W.,(2005).** Influence of Microorganisms on Phosphorus Bioavailability in Soils. In: F. Buscot and A. Varma (eds.), *Microorganisms in Soils: Roles in Genesis and Functions*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, Germany. p.62.
- **Deubel, A., Gransee, W., Merbach, (2000).** Transformation of organic rhizodeposits by rhizoplane bacteria and its influence on the availability of tertiary calcium phosphate. *J. Plant Nutr. SoilSci.* **163**:387-392.
- **Djeghar Hadjer., Djeghar Ihsene.(2004)** comparaison de quatre milieux pour la culture des bactéries minéralisant le phytate.

- **Dobbeleare, S., Croonenborghs, A., Thys, A., Ptacek, D., Okon, Y., Vanderleyden, J., 2002.** Effects of inoculation with wild type *Azospirillum brasilense* and *A. irakense* strains on development and nitrogen uptake of spring wheat and grain maize. *biologie and fertility of soils* 36,284-297
- **Dodor, D. E. et A. M. Tabatabai. (2003).** Effect of cropping systems on phosphatases in soils. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 166 :7-13.
- **Dommergue Y et Mangenot F., 1970.** Ecologie microbienne du sol. Eds. Masson et Cie. Paris. 796p.
- **Doré T., Le Bail M., Martin P., Ney B., Roger. Estrade J., 2006.** L'agronomie aujourd'hui. Ed. Quae. Paris. 967p.
- **Drevon J.J., 1992.** Importance et place des différents systèmes fixateurs de l'azote atmosphérique. in : neyra M. (Ed). Fichier technique de la fixation de l'azote : légumineuses / rhizobium. INRA. Rome. pp5-6.
- **Drevon, J.J., Sifi, B. (2000).** La fixation symbiotique de l'azote et développement durable dans le Bassin méditerranéen
- **Fachmann et Kraut, 2006.** L'intérêt de la fève. Ed. Bourde. Paris. 74p.
- **Fankem, H. D., Nwaga, A. Deubel, L., Dieng, W., Merbach, Etoa, F. X., (2006).** Occurrence and functioning of phosphate solubilizing microorganisms from oil palm tree (*Elaeis guineensis*) rhizosphere in Cameroon. *African J. Biotech.* 5 :2450-2460 .
- **Gallais A. et Bannerot H., 1992.** Amélioration des espèces végétales cultivées. Ed. INRA. Paris. 768p.
- **Gallais, A., and Bannerot, H. (1992).** Amélioration des espèces végétales cultivées : objectifs et critères de sélection. Paris: INRA, 768 pp.
- **Gerretsen, F. C. ,(1948).** The influence of microorganisms on the phosphate intake by the plant.
- **Gholami, A., Shahsavani, S., Nezarat, S., 2009.** The Effect of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) on Germination, Seedling Growth and Yield of Maize *international journal of biological and life sciences* 5,144-157.
- **Göhre, V., Robatzek, s., 2008.** Breaking the barriers: Microbial effect or molecules subvert plant immunity. *Annual Review of Phytopathology* 46,189-215.
- **Goldstein 1994** Goldstein AH (1994) involvement of the quinoprotein glucose dehydrogenase in the solubilization of exogenous phosphates by Gram-negative bacteria. In: In: A. Torriani-Gorini EY aSS, Editors, *Phosphate in Microorganisms: Cellular and Molecular Biology* (ed). ASM Press, Washington D.C ., pp 197-203 .

- **Goldstein, A.H.,(1995).**Recent progress in understanding the molecular genetics and biochemistry of calcium phosphate solubilization by Gram–negative bacteria. *Biology, Agriculture and Horticulture* 12:185-193
- **Graham, P.H., (1981).** Some problems of nodulation and symbiotic nitrogen fixation in *Phaseolus vulgaris* L. *Field Crop Res.*, 4: 93 -112
- **Guinoolhet. M., and De Vilmorin., R. (1984).** Flore de France, Editions du CNRS. Paris.1879 pp
- **Gupta ,A.M. ,Gopal ,K.V.B.,TILAK,R. ,2000.**Mechanism of plant growth promotion by rhizobacteria.*Indian Journal Of Experimental Biology* 38,856-862
- **HAFOUDA L, 2005.** Caractérisation et quantification de la salinité du sol et de la nappe phréatique dans la vallée de l'oued, thèse Magister Hyd, Institut national agronomique -El Harrach –Alger , p27
- **Hilda, R., Fraga, R., 2000.** Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotech. Adv.* 17:319-359.
- **Holford 1997**Holford JCR (1997) Soil phosphorus: its measurement, and its uptake by plants. *Aust J Soil Res* 35:227-239 .
- **Jones,J.D.G.,Dangl ,J.L. ,2006.**The plant immune system.*Nature*444,323-329.
- **Kai ,M. ,Emert ,U.,Berg ,G. ,Piechulla,B.,2017.**Volatiles of bacterial antagonists inhibit mycelial growth of the plant pathogen *Rhizoctonia solani*.*Archives of Microbiology.*187,351-360.
- **Kang, H –F., Zong, X-X., Guang, J-P., Youg, T., sun, X-L, Ma,Y., Redden, R. (2012).**Genetic diversity and relationship of global fababean (*vicia faba* L.) germ plasm revealed by ISSR markers. *Theor APPL Genet.*124 :789-797
- **Keel, C., Weller, D.M., Natsch, A., Defago, G., Cook, R.J., Thomashow, L.S., 1996.**Conservation of 2,4-diacetophloooroglucinol biosynthesis locus among fluorescent *Pseudomonas* strains from diverse geographic locations. *Applied and Environmental Microbiology*62,552-563
- **Kempf, H.J., Wolf, G., 1989.***Erwinia herbicola* as a biocontrol agent of *Fusarium culmorum* and *Puccinia recondita* f. sp. *tritici* on wheat. *Phytopathology*79,990-994.
- **Khalidi, R., Zekri, S., Maatougui, M.E.H., and Ben Yassine, A. (2002).** L'Economie des Légumineuses Alimentaires au Maghreb et dans le Monde. Proceedings du 2^{ème} séminaire du réseau REMAFEVE/REMALA, « Le devenir des Légumineuses Alimentaires dans le Maghreb », Hammamet, Tunisie, 100pp.

- **Kim ,K.Y., Jordan ,D., Krishnan ,H.B. ,(1997).**Rahnellaaqualitis, a bacterium isolated from soybean rhizosphere, cansolubilize hydroxyapatite. FEMS MicrobiologyLetters.153.
- **Knowles, C.J., Bunch, A.W., 1986.**Microbial cyanide et abolism. Advances in Microbial Physiology 27,73-111
- **Kpomblekou, K. , Tabatabai ,M. A., (1994).** Effect of organicacids on release of phosphorus from phosphate rocks. SoilSci.158,442-453.
- **Lambrecht, M., Okon, Y., Vande, Broek, A., Vanderleyden, J., 2000.**Indole-3-aceticacid: A reciprocal signalling molecule in bacteria-plant interactions.treends in Microbiologie 8,298-300.
- **Laumonier, R. (1979)** culture légumière et mari chaires, tome iii. ed.j.b. baillier, 276 pp.
- **Le Clech B., 1999.** Production végétales grandes cultures. Ed. Synthèse Agricol. Paris.410p.
- **Leguen J et Duc G., 1992.** La fèvevole : amélioration des espèces végétales cultivées; objectifs et variétés de sélection. Ed. I.N.R.A. Paris.pp :189-193
- Leguminosa based on analysis of the plastid mat k gene resolves many wellsupportedsubclades with the family .Am I , pp.1846 1862.
- **Lodewyckx, C., Vangronsveld, J., Porteous, F., Moore, E.R.B., Taghavi, S.Mezageay,M.,Van der Lelie,D.,2002.**Endophytic bacteria and their potential application.Critical Reviews in Plant Sciences 21,583-606.
- **Lucy, M., Peed, E., G lick, B.R., 2004.**Applications of free living plant growth-promoting rhizobacteria. Antonie van Leeuwenhoek 86,1---25
- **Luttge G., Pienaar B.J., Braune K, Perrino P., 1994.** Collecting with Vigna in Nata and Transvaal (South Africa). Plant Genetic Ressources Newsletter. pp. 21-23.
- **Maatougui M.E.H., 1996.** Situation de la culture des fèves en Algérie et perspectives de relance. Céréaliculture, numéro spéciale Fève. ITGC. El Harrach.pp 6-15.
- **Maatougui M.E.H., 1997.** Situation de la culture des fèves en Algérie et principales contraintes. Céréaliculture, numéro spécial fève. Ed. ACTES Rabat. Pp6-15.
- **Mackey and Paytan 2009**Mackey KRM, Paytan A (2009) Phosphorus cycle. Encyclopediaoof Microbiology. MoselioSchaechter (ed.), Oxford ,pp.322-334 .
- **Madigan M et Martinko, 2007.** Biologie des micro-organismes. Ed. Pearson. Paris.1047p.

- **Magnin-Robert, M., Trotel-Aziz, P., Quantinet, D., Biagiatti, S., Aziz, A., 2007.** Biological control of *Botrytis cinerea* by selected grapevine-associated bacteria and stimulation of chitinase and -1.3 glucanase activities under field conditions European journal of Plant Pathology 118,43-57.
- **Maier R.M., Pepper I.L., Gerba C., 2009.** Environmental microbiology. Ed. Academic Press.598p.
- **Martínez-Viveros, O., Jorquera, M.A., Crowley, D.E., Gajardo, G., Mora, M.L., 2010.** Mechanisms and practical considerations involved in plant growth promotion by rhizobacteria. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 10, 293-319.
- **Maurhofer, M., Keel, C., Schnider, U., Voisard, C., Hass, D., Defago, G., 1992.** Influence of enhanced antibiotic production in *Pseudomonas fluorescens* strain CHAO on its disease suppressive capacity. Phytopathology 82,190-195
- **Mazzola, M., Cook, R.J., Thomashow, L.S., Weller, D. M., Pierson, L.S., 1992.** Contribution of phenazine antibiotic biosynthesis to the ecological competence of fluorescent pseudomonads in soil habitats. Applied and Environmental
- **Mccarthy, A.J. Williams, S.T., 1992.** Actinomycetes as agents of bio degradation in the environment. Gene 115,189-192. Méditerranéennes. Série Séminaires, 10: 123-125.
- **Meziane, H., Van der Sluis, I., Van Loon, L.C., Höfte, M., Bakker, P.A.H., 2005.** Determinants of *Pseudomonas putida* WCS358 involved in inducing systemic resistance in plants. Molecular Plant Pathology 6,177-185 .
- **Montealegre, J.R., Reyes, R., Perez, L.M., Herrera, R., Silva, P., Besoain, X., 2003.** Selection of Bio-antagonistic bacteria to be used in biological control of *Rhizoctonia solani* in tomato. Electronic journal of Biotechnology 6,115-127
- **Pelmont J., 2005.** Biodégradations et métabolismes : les bactéries pour les technologies de l'environnement. Ed. EDP Science.798p.
-
- **kPerez, L.M., Basoain, X., Reyes, M., Pardo, G., Montealegre, J., 2002.** The expression of extracellular fungal cell wall hydrolytic enzymes in different *Trichoderma reesei* isolates correlate with the ability to control *Peronospora* and *Alysiaceae*. Biological Research 35,401-410 .
- **Peron, J.Y. (2006).** Références. Production légumières. 2eme Ed,613pp.
- **Perry J.J., Staley J.J., Lory S., 2004.** Microbiologie : Cours et questions de révision. Ed. Dunod. Paris.891p.

- **Petterson, M., Baath, E., 2004.** Effects of the properties of the bacterial community on pH adaptation duringre colonization of a humus soil. *Soil Biology and Biochemistry* 36,1383-1388 ..
- **Piechulla, B., Pou, M.B., 2003.**Plant scents-mediator of inter- and intra-organismic communication. *Planta* 217,687-689 .
- **Ping, L., Boland, w., 2004.** Signals from the underground: bacterial volatiles promote growth in Arabidopsis. *Trends in Plant Science* 9,263-266 .
- **Rachef, S.A., Ouamer., and Ouffroukha, F.A. (2005).** Inventaire des ravageurs de la feve en algérie (identification et caractérisation). *I.N.R.A.*,16: 36-41.
- **Ramamoorthy, V., Viswanathan, R., Raguchander, T., Prakasam, V., Samiyappan,R., 2001.** Induction of systemic resistance by plant growth promoting rhizobacteria in crop plants againstpests and diseases. *Crop Protection* 20,1-11 .
- **Reyes, I. , Bernier, L., Simard, R. , Antoun ,H. ,(1999).**Effect of nitrogen source on solubilization of differentin organic phosphates by an isolate of *Pencillium rugulosum* and two UV-induced mutants. *FEMS Microbiology Ecology* 28,281-290
- **Ricklefs et Miller, 2005.** *Ecologie.* Ed. De Boeck université. Paris.858p.
- **Rolfe, B.G., DjordJevc, MA., Weinman, J.J., Mathesius, U., Pittock, C., Gartner,E., Ride, K.M., Dong, Z.M., Mc Cully, M., Mclver, J., 1997.** Root morphogenesis in legumes and cereals and the effect of bacterial inoculation on root development. *Plant and Soil* 194, 131-144.
- **Rose M.R. et Mueller L.D., 2006.** *Evolution and ecology of the organism.* Ed. Pearson.693p
- **Ryu, CM., Farag, MA., Hu, C.H., Reddy, M.S., Kloepper, J.W., Pare, P.W., 2004.** Bacterial volatiles induce systemic resistance in Arabidopsis. *Plant Physiology* 134,1017-1026
- **Shaharoon, B., Jamro, G.M., Zahir, Z.A., Arshad, M., Memon, KS., 2007.**Effectiveness of various *Pseudomonas* spp. and *Burkholderia caryophylli* containing ACC-deaminase for improving growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Microbiology and Biotechnology* 17,1300-1307
- **Shaukat, K., Affrasayab, S., Hasnain, S., 2006.**Growth responses of *Helianthus annuus* to plant growth promoting rhizobacteriaused as a biofertilizer. *Journal of Agriculture Research* 6,573-581
- **Soltner D., 2005.** *Les bases de la production végétale.* Ed. Collection sciences et technique agricoles304p..

- **Tarafdar, J. C., Rao, A. V., Bala, K., (1988).** Production of phosphatases by fungi isolated from desert soils. *Folia Microbiol.* 33:453-457 .
- **Tokala, R.K., Strap, J.L., Jung, C.M., Crawford, D.L., Hamby, Salove, M., Deobald, L.A., Bailey, J.F., Morra, M.J., 2002.** Novel plant-microbe rhizosphere interaction involving *Applied and Environmental Microbiology* 68,2161-20171 .
- **Tortora G.J., Funke B.R., Case C.L., 2003.** Introduction à la microbiologie. Ed. Renouveau Pédagogique Inc. 945p.
- **Trinchant J.C., Drevon J.J., Rigaud. J., 1998.** Fixation symbiotique de l'azote. In: Morot Gaudry (Ed): assimilation de l'azote chez les plantes; aspect physiologique, biochimique et moléculaire. Eds. Quae, INRA. pp133-145.
- **Van Loon, L.C., Bakker, P., Pieterse, C.M.J., 1998.** Systemic resistance induced by rhizosphere bacteria. *Annual Review of Phytopathology* 36,453-483 .
- **Vandana Katiyar, Reeta Goel (2003)** sur la croissance de la fève inoculée par des souches de *Pseudomonas fluorescens*
- **Vasileva, V., Ilieva, A., 2007.** Effect of presowing treatment of seeds with insecticides on nodulating ability, nitrate reductase activity and plastid pigments content of lucerne (*Medicago sativa* L.). *Agronomy Research* 5,87-92 .
- **Vikram and H. Hamzehzarghani (2008)** sur la croissance de la Pois chiches verts inoculée par des des isolats des rhisobacteries
- **Vilain M., 1997.** La production végétale : les composantes de la production. Ed. TEC et DOC. 478p.
- **Voisard, C., Keel, C., Haas, D., Defago, G., 1989.** Cyanide production by *Pseudomonas fluorescens* help suppress black root rot of tobacco under gnotobiotic conditions. *EMBO Journal* 8,351-358 .
- **Wajciechowski, M.F., Lavin M., Sanderson, M.I., 2004.** Aphytogeny of legumes
- **Weller, D.M., Raaijmakers, J.M., Mcspdden, Gardener, B.B., Thomashow, L.S., 2002.** Microbial populations responsible for specific suppressiveness to plant pathogens. *Annual Review of Phytopathology* 26,379-407
- **Wheatley, R.E., 2002.** The consequences of volatile organic compound mediated bacterial and fungal interactions. *Antonie Van Leeuwenhoek* 81,357-364 .
- **Whipps, J.M., 2001.** Microbial interactions and biocontrol in the rhizosphere. *Journal of Experimental Botany* 52,487-511 .
- **World Bank (2008).** -Indicateurs de développement dans le monde.

- **Yang, C.H., Crowley, D.E., 2000.** Rhizospheremicrobialcommunity structure in relation to root location and plant ironnutritional status. *Applied and Environmental Microbiology* 36,345-351 .
- **Zaghouane, O. (1991).** The situation of faba bean (*Vicia faba* L.) in Algeria. *Options*
- **Zaidi, S., Usmani, S., Singh, B.R., Musarrat, J., 2006.** Significance of *Bacillus subtilis* strain SJ-101 as a bio inoculant for concurrent plant growth promotion and nickel accumulation in *Brassica juncea*. *Chemosphere* 64,991-997 .
- **Zermane, N., Souissi, T., Kroschel, J., Sikora, R., 2007.** Biocontrol of broomrape (*Orobanche crenata* Forsk. And *Orobanche foetida* Poir) by *Pseudomonas fluorescens* isolate Bf7-9 from the faba bean rhizosphere. *Biocontrol Science and Technology* 17 (5),483-497 .

Annexe

Tableau : montre les calculs des paramètres de croissance de la fève

	en cm					en pourcent		
	Témion	7,2	GAF	MOST		7,2	GAF	MOST
Moyen longueur des tiges sol sterile	32,89	31,44	33,67	31,11		0,95	02,37	0,94
Moyen longueur des tiges sol non sterile	33,67	38	35	31,44		12,86	03,95	0,93
Moyen longueur de la partie racinaires sol steriles	17,38	16,27	19,44	16		0,93	11,85	0,92
Moyen longueur de la partie racinaires sol non steriles	18,11	19,5	18,11	17,56		07,68	0	0,96
Moyen de nombre de racine sol sterile	4,77	4,44	6,11	4,66		0,93	28,09	0,97
Moyen de nombre de racine sol non sterile	4,33	5,55	5,22	3,88		28,18	20,55	0,89
Moyen de longueur de feuille sol sterile	4,77	5,33	4,94	4,38		11,74	03,56	0,91
Moyen de longueur de feuille sol non sterile	5	5,11	4,75	4,77		02,20	0,95	0,95
Moyens pois de la partie aerienne frais sol sterile	13,78	15,34	19,3	13,77		11,32	40,06	0,99
Moyens pois de la partie aerienne frais sol non sterile	17	27,57	16,16	17,84		62,18	0,95	04,94
Moyen pois frais de la partie racinaire sol sterile	13,42	11,66	15,64	11,54		0,86	16,54	0,85
Moyen pois frais de la partie racinaire sol non sterile	15,41	14,48	18,39	16,33		0,93	19,34	05,97
Moyen de pois sec de la partie aerienne sol sterile	2,18	2,32	2,97	1,96		06,42	36,24	0,89
Moyen de pois sec de la partie aerienne sol non sterile	2,57	4,47	2,61	2,86		73,93	01,56	11,28
Moyen de pois sec de la partie racinaire sol sterile	2,71	2,54	3,46	2,08		0,93	27,68	0,76
Moyen de pois sec de la partie racinaire sol non sterile	3,67	3,16	4,71	3,31		0,86	28,34	0,90

.1. Longueur des tiges (cm)

	Temoin		7.2		GAF		MOST	
	stérile	Non sterile						
Moyen	32.89	33.67	31.44	38	33.67	35	31.11	31.44
Ecart type	4.94	5.45	5	6.18	4.95	7.43	5.58	6.44
P			0.4	0.06	0.6	0.6	0.3	0.3

Ns : non significative (P > 0.05)

2. Longueur des racines (cm)

	Temoin		7.2		GAF		MOST	
	stérile	Non sterile						
Moyen	17.38	18.11	16.27	19.50	19.44	18.11	16	17.56
Ecart type	2.47	2.71	2.33	2.82	2.96	2.93	6.91	3.09
P			0.19	0.17	0.07	1	0.56	0.6

Ns : non significative (P > 0.05)

3. Le nombre des racines

	Temoin		7.2		GAF		MOST	
	stérile	Non sterile						
Moyen	4.77	4.33	4.44	5.55	6.11	5.22	4.66	3.88
Ecart type	1.92	3.12	1.81	2.18	2.57	2.72	2.64	1.96
P			0.5	0.13	0.1	0.35	0.9	0.52

Ns : non significative (P > 0.05)

4. La longueur des feuilles (cm)

	Temoin		7.2		GAF		MOST	
	stérile	Non sterile						
Moyen	4.77	5	5.33	5.11	4.94	4.75	4.38	4.77
Ecart type	0.56	0.55	0.86	0.48	0.91	1.3	0.6	0.75
P			0.09	0.51	0.6	0.59	0.08	0.4

Ns : non significative (P > 0.05)

5. Le poids frais de la partie aérienne (g)

Le sol	Témoïn		7.2		GAF		MOST	
	stérile	Non stérile						
Moyen	13.78	17	15.34	27.57	19.30	16.16	13.77	17.84
Ecart type	3.58	6.33	4.10	10.12	7.05	8.85	3.82	6.76
P			0.2	0.01	0.04	0.78	0.9	0.71

L'isolat 7.2 sol non stérile ** hautement significative : (P =< 0.01)

L'isolat GAF sol stérile * Significative : (P < 0.05)

6. Le poids frais de la partie racinaire (g)

Le sol	Témoïn		7.2		GAF		MOST	
	stérile	Non stérile						
Moyen	13.42	15.41	11.66	14.48	15.64	18.39	11.54	16.33
Ecart type	1.81	5.76	4.5	4.61	5.85	10.12	3.36	3.85
P			0.27	0.56	0.28	0.4	0.13	0.49

Ns non significative (P > 0.05)

7. Le poids sec de la partie aérienne (g)

Le sol	Témoïn		7.2		GAF		MOST	
	stérile	Non stérile						
Moyen	2.18	2.57	2.32	4.47	2.97	2.61	1.96	2.86
Ecart type	0.56	1	0.53	1.59	1.16	1.26	0.55	1.03
P			0.45	0.007	0.07	0.91	0.25	0.42

L'isolat 7.2 sol non stérile ** hautement significative : (P < 0.01)

8. Le poids sec de la partie racinaire (g)

Le sol	Témoïn		7.2		GAF		MOST	
	stérile	Non stérile						
Moyen	2.71	3.67	2.54	3.16	3.46	4.71	2.08	3.31
Ecart type	0.52	1.82	1.11	1.28	1.78	3.48	0.90	1.18
P			0.67	0.26	0.24	0.39	0.07	0.39

Ns non significative (P > 0.05)

Résumé

Les bactéries solubilisant le phosphate PGPR jouent un rôle important dans la fertilité du sol et favorisent la croissance des plantes. Le but de cette étude consiste à isoler des bactéries qui solubilisent le phosphore calcique à partir du sol afin de le rendre assimilable pour notre plante de la fève.

- L'isolat 7.2 est la plus intéressante qui arrive à un indice de solubilité de 2.6.
- L'isolat 7.2 à favoriser la croissance de la plante en longueur de tige de 12.86%.
- L'isolat GAF à favoriser la croissance de la plante en longueur de racine de 11.85 %.
- L'isolat 7.2 à favoriser la croissance de la plante en nombre des racines de 28.18%.
- L'isolat 7.2 à favoriser la croissance de la plante en poids frais de la partie aérienne de 62.18 %.
- L'isolat 7.2 à favoriser la croissance de la plante en poids sec de la partie aérienne de 73.93%.

L'effet positif de l'inoculation du sol par l'isolats 7.2 sur la croissance de la fève ouvre un nouveau axe de recherche dans la région pour améliorer l'acquisition des minéraux par les plantes en utilisant les PGPR.

Mots clés : la fève, solubilisant du phosphate calcique, PGPR, isolat, fertilité du sol.

المخلص:

تلعب البكتيريا المذيبة للفوسفات دورا هاما في خصوبة التربة وتعزيز نمو النبات. الهدف من هذه الدراسة هو عزل البكتيريا التي تحلل فوسفور الكالسيوم من التربة من أجل التغذية لنبات الفول. في هذه التجربة قمنا بـ :

- عزلة 7.2 هو الأكثر إذابة للفوسفات التي تصل إلى مؤشر الذوبان من 2.6.
 - عزلة 7.2 عززت نمو النبات في طول الساق بـ 12.86%.
 - عزلة GAF عززت نمو النبات في طول الجذر بـ 11.85 %.
 - عزلة 7.2 عززت نمو النبات في عدد الجذور بـ 28.18%.
 - عزلة 7.2 عززت نمو النبات في الوزن الطازج من الجزء الهوائي بـ 62.18 %.
 - عزلة 7.2 عززت نمو النبات في الوزن الجاف للجزء الهوائي 73.93 %.
- التأثير الإيجابي لتطعيم التربة بواسطة العزلة 7.2 على نمو نبات الفول يفتح مجال بحث جديد في المنطقة لتحسين اكتساب المعادن بواسطة النباتات التي تستخدم بكتيريا PGPR.

الكلمات المفتاحية: الفول، مذيبة فوسفات الكالسيوم، بكتيريا معززة لنمو النبات ، العزل ،خصوبة التربة.