



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université chahid cheikh Larbi Tébessi -Tébessa



Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie

Département : Etres vivants

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de master

Domaine: Sciences de la nature et de la vie

Filière: Sciences Biologiques

Option: Ecophysiologie végétale

Thème:

**Evaluation du pouvoir stimulateur de croissance sous serre
des bactéries PGPR isolées de la Rhizosphere de
Citrus colocyntis sur des variétés de blé dur**

Présenté par:

Adoui Amani

Mecibeh Chaima

Devant le jury composé de :

Dr. SGHIR Hanane	MCB	Université de Tébessa	présidente
Dr. FATMI Hindel	MCB	Université de Tébessa	Examineur
Dr. DEKAK Ahmed	MCA	Université de Tébessa	Promoteur

Date de soutenance : **10 / 06 / 2023**

Note :..... Mention :

Dédicace :

Je dédie ce travail :

A Mon chère Père Amar

Ce travail est dédié à mon père, qui m'a toujours poussé et motivé dans mes études.

J'espère qu'il apprécie ce humble geste comme

preuve de reconnaissance de la part de sa fille qui a toujours prié pour lui,

Puisse Dieu, le tout puissant, prendre soin de lui pour qu'il soit toujours présent à côté de moi !

A Ma Chère Mère Souad

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération

pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être.

Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et

j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours.

Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables, sacrifices. Puisse Dieu, le Très Haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie.

A mon Cher Frère

Aymen qui n'a pas cessé de me conseiller, encourager et soutenir tout

au long de mes études. Que Dieu le protège et leur offre la chance et le bonheur.

A ma cher Grand-mère Djamila

En ce jour je t'adresse tout mon amour, mon affection, ma tendresse ainsi que toute ma reconnaissance envers ces années passées à tes côtés et celles que je continuerai à vivre avec toi.

A Mes Oncles et Mes Tantes, Que Dieu leur donne une longue et joyeuse vie.

Tous Les Cousins, Mes Amies, A tous ceux qui me sont chères,

A tous ceux que j'aime Merci pour leurs amours et leurs encouragements.

Sans Oublier mon binôme Chaima pour sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet.

Amani

*Je dédie ce travail à celle qui m'a donné la vie, le symbole de Tendresse, qui s'est sacrifiée
pour mon bonheur et ma réussite,*

*À ma mère. **sawsen** Aucun dédicace ne pouvait exprimer mon respect, mon amour éternel et
ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction .*

*A mon père **Saleh** , école de mon enfance, qui a été mon ombre durant toutes les années des
études, et qui a veillé sur ma réussite tout au long de ma vie. À m'encourager, à me donner
l'aide et à me protéger Que dieu le gardes et le protège. A Mes frères **charef et chiheb** que
j'aime, Merci pour leurs amours et leurs encouragements.*

A Mes Oncles et Mes Tantes, Que dieu leur donne une longue et joyeuse vie.

Tous Les Cousin, Mes Amies, A tous ceux qui me sont chères,

A tous ceux que j'aime Merci pour leurs amours et leurs encouragements.

*Sans Oublier mon binôme **amani** pour sa patience et sa compréhension tout au long de ce
projet.*

**a mon fiancé Je le remercie pour tout le soutien et l'amour qui me reserve et **pour ma deuxième
famille.***

** À ma sœur **dhikra arar** qui n'a pas cessée de me conseiller, encourager et soutenir tout
au long de mes études. Que Dieu la protège et lui offre la chance et le bonheur.*

a mes souers **layel et rania Que dieu leur donne une longue et joyeuse vie.*

**A tous ceux qui me sont chères.*

**A tous ceux que j'aime.*

Chaima

Remerciements

Au terme de ce travail, on remercie Dieu tout puissant de nous avoir donné la force, le courage et la volonté d'entamer ce projet et de le finir.

Je tiens à remercier tout particulièrement mon encadrant Dr. DEKAK Ahmed pour le temps et l'attention qu'il a consacrée pour le bon déroulement de ce travail.

Mes sincères remerciements vont également aux membres de jury Dr. FATMI Hindel et Dr. SGHIR Hanane pour avoir accepté d'examiner notre travail.

Mes remerciements vont à tous les enseignants du département de biologie et les ingénieurs de laboratoire de l'université de Tébessa qui ont contribué à notre formation.

Résumé

Cette étude qui est réalisée pour la première fois, vise à explorer l'effet des isolats PGPR obtenus à partir de la rhizosphère du *Citrullus colocynthis* capable de solubiliser le phosphate, le potassium et synthétiser l'IAA sur la germination des graines et sur les paramètres agronomiques de blé dur (*Triticum durum* var. Ain abid). En utilisant deux types d'inoculation unique et co-inoculation multiple, afin d'étudier leurs effets sur les différents indices de germination et les paramètres de croissance du blé.

L'utilisation des méthodes d'analyse statistiques comme l'ANOVA a un seul critère pour l'étude des indices de germination et a deux critères pour les paramètres agronomiques. On a constaté que l'ensemble des traitements ont un effet non significatif sur le pourcentage de germination, le pourcentage de germination finale, la vitesse de germination et la longueur de la partie aérienne. Par contre, on signale des différences très hautement significatives des traitements sur le coefficient de germination, l'indice de germination et le reste des paramètres agronomiques étudiés. Suite à ces résultats obtenus, on peut avancer que les inoculations des graines de blé par des PGPR est un moyen très efficace pour améliorer la croissance des plantules de blé. Il est très intéressant de valoriser nos co-inoculations comme biofertilisateurs.

Mots clés : PGPR ; *Triticum durum* ; co-inoculation ; germination ; paramètres agronomiques.

Abstract

This study, which is carried out for the first time, aims to explore the effect of PGPR isolates obtained from the rhizosphere of *Citrullus colocynthis* capable to solubilizing phosphate, potassium and synthesizing IAA on seed germination and on the agronomic parameters of durum wheat (*Triticum durum* var. Ain abid). By using two types of single inoculation and multiple co-inoculation, in order to study their effect on the different germination index and the growth parameters of wheat.

The use of statistical analysis methods such as ANOVA with a single criterion for the study of germination index and with two criteria for the agronomic parameters show that all the treatments have a non-significant effect on the percentage of germination, final germination percentage, germination rate and aerial part length. On the other hand, very highly significant differences between the treatments are reported on the germination coefficient, germination index and the rest of the agronomic parameters studied following these results obtained, it can be argued that the inoculation of wheat seeds by PGPR is a very effective means. to improve the growth of wheat seedlings. It is very interesting to develop our co-inoculations as a biofertilizer.

Key words: PGPR ; *Triticum durum* ; co-inoculation ; germination ; agronomic prameters.

الملخص:

تهدف هذه الدراسة ، التي أجريت لأول مرة ، إلى استكشاف تأثير عزلات PGPR التي تم الحصول عليها من جذور ومن التربة المحاذية لها لنبات *Citrullus colocynthis* القادرة على إذابة الفوسفات والبوتاسيوم ونتاج IAA على إنبات البذور وعلى المعاملات الزراعية للقمح الصلب (*Triticum durum* صنف. عين عبيد). باستخدام نوعين من التطعيم الفردي و المشترك المتعدد ، وذلك لدراسة تأثيرهما على معاملة الإنبات ومعايير نمو القمح.

يوضح استخدام طرق التحليل الإحصائي مثل ANOVA بمعيار واحد لدراسة مؤشر الإنبات ومع معيارين للمعاملات الزراعية، أن جميع المعالجات لها تأثير غير إحصائي على النسبة المئوية للإنبات، نسبة الإنبات النهائي ومعدل الإنبات وطول الجزء العلوي للنبات. من ناحية أخرى ، تم الحصول عن فروق ذات دلالة إحصائية كبيرة بين المعالجات في معامل الإنبات ، مؤشر الإنبات وبقية المعاملات الزراعية التي تمت دراستها. هذه النتائج التي تم الحصول عليها ، يمكن القول بأن تلقیح بذور القمح بواسطة PGPR وسيلة فعال للغاية لتحسين نمو شتلات القمح. من المثير للاهتمام هو تطوير التطعيمات المشتركة المتحصل عليها كسماد بيولوجي.

الكلمات المفتاحية: PGPR ؛ *Triticum durum* ؛ التطعيم المشترك ؛ إنبات ؛ المعاملات الزراعية.

Liste des figures

Figures	Titres	Pages
Figures 1	La rhizosphere	02
Figures 2	La structure de la rhizosphere	03
Figures 3	Interactions entre plantes et bactéries coopératives dans la rhizosphèr.	04
Figures 4	Représentation du cycle d'azote selon	06
Figures 5	Structure générale des siderophores citrate-hydroxamate	08
Figures 6	<i>Citrullus Colocynthis</i>	15
Figures 7	Boîtes de Pétri des différentes souches bactériennes utilisées.	17
Figures 8	Cultures bactérienne dans milieu liquide.	18
Figures 9	placées les grains dans un tube à essai avec la culture bactérienne.	18
Figures 10	Effet des traitement sur les pourcentages de germination	23
Figures 11	Effet des traitements sur le pourcentage de germination final	24
Figures 12	Effet des traitements sur indice de vitesse de germination	24
Figures 13	Effet des traitements sur la coefficient de germination	25
Figures 14	Effet des traitements sur l indice de germination	26
Figures 15	Effet des traitements sur la longueur de la partie arienne	27
Figures 16	Effet des traitements sur la longueur des racines	28
Figures 17	Effet des traitements sur le poids frais des plantes de blé	29
Figures 18	Effet des traitements sur le poids après dessiccation	30
Figures 19	Effet des traitements sur le nombre des feuilles	31
Figures 20	Effet des traitements sur la surface folliare	32

Liste des tableaux

Tableaux	Titres	Pages
Tableaux 1	Isolation et sélection de quelque du PGPR	05
Tableaux 2	Termes adoptés pour classer les mécanismes par lesquelles les PGPR stimulent la croissance des plantes.	14
Tableaux 3	Les souches des bactéries et leur propriétés PGPR	15
Tableaux 4	Analyse statistique des pourcentage de germination	23
Tableaux 5	Analyse statistique des pourcentages de germination finaux	24
Tableaux 6	Analyse statistique des indices de vitesse de germination	25
Tableaux 7	Analyse de la variance sur le coefficient de germination	25
Tableaux 8	Analyse statistique de l'indice de germination	26
Tableaux 9	Analyse statistique des effets des traitement sur la longueur de la partie arienne	27
Tableaux 10	Analyse statistique d'effet des traitements sur la longueur des racines	28
Tableaux 11	Analyse statistique de l'effet des traitement sur le poids frais	29
Tableaux 12	Analyse statistique du poids après dissication	30
Tableaux 13	Analyse statistique de nombre des feuilles	31
Tableaux 14	Analyse statistique de la surface folliare	32

SOMMAIRE

Éléments	Page
Chapitre I : Revue bibliographique	
Introduction	01
1. Généralités sur la rhizosphère	02
2. Les bactéries rhizosphériques ou les rhizobactéries	03
3. Rhizobactéries stimulatrices de la croissance végétale	04
4. Isolement et caractérisation de Plant Growth Promoting Bacteria	05
5. Effet directe des PGPR sur la plante	06
5.1 Acquisition des ressources	06
5.1.1. Fixation d'azote	06
5.1.2. Solubilisation du phosphate	07
5.1.3. Solubilisation du potassium	07
5.1.4. La solubilisation du Zinc	07
5.1.5. production des sidérophores	08
5.2. Production des phytohormones	08
5.2.1. Acide Indole Acétique (IAA)	09
5.2.2. 1-Aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC) désaminase	09
5.2.3. Production des cytokines	10
5.2.4. Production du cyanure d'hydrogène (HCN)	10
5.3. Production des sidérophores	11
6. Effet indirect des PGPR sur les plantes	11
6.1. Production d'enzymes lytique par PGPR : chitinase et de glucanase	11
6.2. Productions des antibiotiques	11
6.4. Induction d'un système de résistance	12
6.5. La compétition	12
7. Utilisation des PGPR en agri-culture	13
Chapitre II : Materials et méthode	
1. Présentation des souches	15
2. présentation du matériel végétal	16
3. Le sol	17
4. Protocole expérimentale	17
4.1. Préparation des souches	17
4.1.1. Ensemencement des isolats dans milieu solide	17
4.1.2. Transfert des isolats dans milieu liquide	18
4.2. Inoculation des graines	18
4.2.1. Stérilisation des grains	18
4.2.2. Inoculation des grains	18
5. Conditions d'expérimentation.	19
6. Plan expérimentale L'expérimentation	19
7. Paramètres de degermination	19
7.1. Pourcentage de germination finale (PGF%)	19
7.2 Indice de vitesse de germination	19
7.3. Pourcentage d'énergie de germination (GE %).	19
7.4 . Indice de germination	19
7.5. Coefficient de germination (CG).	20
7.7. Indice de vitesse de germination	20

8. Parametres agronomiques	20
9. Les analyses statistiques	21
Chapitre III : Resultats et discussion	
10. Etude des indices de germination	23
10.1. Pourcentage de germination après 4 jours (PG)	23
10.2. Pourcentage de germination final après 8 jours	23
10.3. Indice de vitesse de germination	24
10.4. Coefficient de germination	25
10.5. Indice de germination	26
11. Paramètres agronomiques	27
11.1. Longueur de la partie aérienne	27
11.2 Longueur des racines (LDR)	27
11.3. Le poids frais (PF)	29
11.4. Poids après dessiccation (PS)	29
11.5. Nombre des feuilles (NbrF)	30
11.6. Surface foliaire (SF)	31
12. Discussion	33
13. Conclusion et perspectives	34
Références bibliographiques	37
Annexe	

Chapitre I
Revue bibliographique

Introduction :

La productivité agricole devra augmenter considérablement dans les années à venir pour faire face à la croissance démographique mondiale croissante et aux dommages environnementaux. Pour lutter contre cela et obtenir des rendements plus élevés, les agriculteurs en sont venus à s'appuyer sur des sources d'engrais chimiques qui, en plus d'être coûteux, épuisent les sources d'énergie non renouvelables et présentent des risques pour l'environnement pour les humains et les animaux. (FAO, 2015).

De toute évidence, il existe des avantages évidents à utiliser des méthodes biologiques efficaces pour fournir les minéraux nécessaires à la croissance des plantes et pour orienter les pratiques agricoles vers des méthodes plus durables et respectueuses de l'environnement. Cela comprend l'utilisation de bactéries favorisant la croissance des plantes. (Glick, 1995)

On s'attend à ce que dans un avenir proche, les bactéries favorisant la croissance des plantes (PGPR) commencent à remplacer l'utilisation de produits chimiques dans les stratégies de développement agricole durable, et en effet, la production de biofertilisants contenant des souches bactériennes isolées de la rhizosphère des plantes est devenue tout à fait important, car ils sont plus tolérants aux conditions abiotiques extrêmes, telles que la température, la salinité et la sécheresse, et augmentent la productivité en facilitant l'absorption des nutriments par les plantes sans causer de danger pour l'environnement et les humains. (Vicey, 2003).

Les bactéries sont les microorganismes les plus abondants et métaboliquement les plus actifs du sol. D'où un gramme de sol forestier contient en moyenne environ 4×10^7 bactéries, tandis qu'un gramme de prairie ou le sol cultivé en contient selon les estimations 2×10^9 bactéries . Les bactéries représentant plus de 1000 espèces, sont responsables de nombreux processus : libération des éléments nutritifs à partir de la matière organique et des minéraux du sol, Production d'hormones de croissance qui favorisent le développement des racines et Compétition avec les micro-organismes pathogènes limitant ainsi les risques de maladie .

Cette étude repose sur l'idée de mettre en évidence des effets des inoculations unique et co-inoculation multiple des graines de blé avec des PGPR endophytique et associées à la rhizosphère de *Citrius colosynthis*, pour l'amélioration des indices de germination et les paramètres agronomiques.

1. Généralités sur la rhizosphère

La rhizosphère telle qu'elle a été définie par Hiltner (1904), est le volume du sol qui entoure les racines et dans lequel la microfaune est influencée par ces dernières. C'est un microécosystème abritant les microorganismes qui sont constitués principalement d'algues microscopiques, de protozoa, de champignons et de bactéries ; certains groupes sont phytopathogènes d'autres sont bénéfiques à la plante (Raaijmakers, 2009). Cette partie du sol est le siège des interactions mutuelles entre le sol, ses microorganismes et la plante.



Figure1. La rhizosphère.

Filearchive.cnews.ru/img/reviews/2010/11/14/mushroom_f3ce1.pg

L'activité des microorganismes dans le sol est intense dans la rhizosphère car, généralement, ils dépendent des substances libérées par les racines des plantes du fait que la plupart de ces microorganismes sont hétérotrophes au carbone et à l'azote (Scurkson et al ., 2002). Ces substances, ou encore appelées exsudats racinaires (Hawes, 1998), représentent dans la rhizosphère la grande partie de la matière organique soluble dans l'eau (sucres, acides organiques, acides aminés) ou insoluble dans l'eau telle que les parois cellulaires et certains résidus du métabolisme. C'est une source importante de la nutrition des microorganismes qui colonisent la rhizosphère (Cheng et al. , 1994). D'autre

part, les exsudats racinaires peuvent influencer les multiples interactions qui existent entre les microorganismes bénéfiques, ceux qui sont phytopathogènes et la plante tant qu'une entité à part (Picard et al., 2000 ; Hirsch et al., 2003).

Les différents processus vitaux des microorganismes du sol peuvent être des étapes très importantes dans les phénomènes d'assimilation par les plantes des macroéléments tels que l'azote (N), le phosphore (P) et le potassium (K), ou les microéléments notamment le fer (Fe) et le zinc (Zn) (Darrah, 1993 ; Bonkowski et al., 2001). En plus des relations trophiques, les microorganismes peuvent être impliqués dans la défense des plantes par la libération dans la rhizosphère de substances toxiques aux agents telluriques phytopathogènes (Bais et al., 2004).

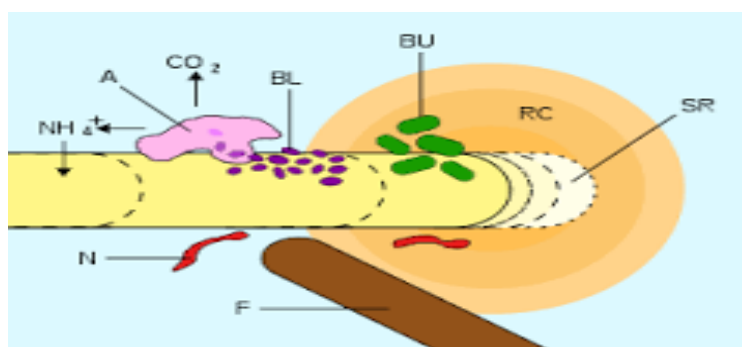


Figure 2. La structure de la rhizosphère.

<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/37/Rhizosphere.svg/1200pxRhizosphere.svg.png>

A=Amibe digérant une bactérie, BL= Bactérie à énergie limitée, BU= Bactérie à énergie non limitée, RC=Racine, SR=Poils absorbants racinaires, F=Mycélium d'un champignon, N=Ver nématode.

2. Les bactéries rhizosphériques ou les rhizobactéries

En générale, les bactéries sont des microorganismes (1-5 μm) à reproduction très rapide et se présentent dans le sol à des concentrations allant de 10^6 à 10^9 cfu g^{-1} de sol (Molope et al., 1987). Elles présentent une variabilité quant à leur pouvoir de décomposer une large gamme de matériaux dans le sol sous des conditions diverses. C'est ainsi que *Pseudomonas* sp. peut métaboliser certains composants chimiques des pesticides. Le genre *Rhizobium* fixe le nitrogène aux nodules des légumineuses (Wood et Newcomb, 1989). Les rhizobactéries représentent le groupe le plus important des

microorganismes de la rhizosphère, ce sont les bactéries qui se trouvent sur la surface des racines (rhizoplan) ou dans le sol rhizosphérique (Li et Kremer, 2000).

3. Rhizobactéries stimulatrices de la croissance végétale

Pour connaître la capacité PGP et les autres applications potentielles des bactéries, il convient de rechercher qualitativement les attributs directs de PGP, notamment la solubilisation du phosphore (Pikovskaya, 1948), du potassium (Hu et al. 2006) et du zinc (Fasim et al. 2002); production de phytohormones acide indole-3-acétique (Bric et al. 1991), acide gibbérellique (Iambrecht et al. 2000 ; Shishido et al. 1996) fixation biologique de N₂ (De Oliveira et al. 1995) production de 1-aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC) désaminase (Jacobson et al. 1994), de sidérophore (Zloch et al. 2016) . Les bactéries devraient également être criblées pour rechercher des attributs de PGP indirectement qualitatifs, notamment la production d'ammoniac (Cappucino et Sherman, 1992), d'enzyme lytique (Yadav et al. 2016) et d'agents de biocontrôle contre différents agents pathogènes fongiques (Yadav et al. 2016).

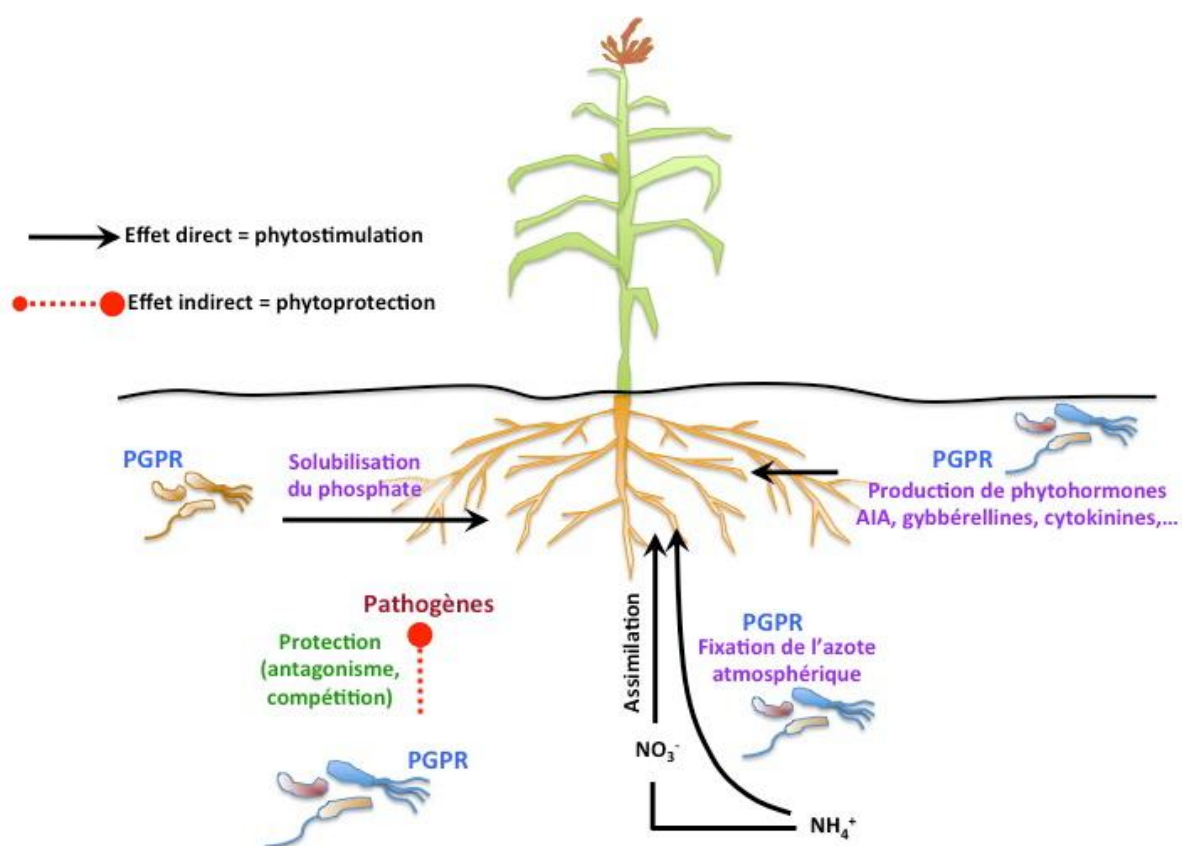


Figure 3. Interactions entre plantes et bactéries coopératives dans la rhizosphère (Khan et al. 2009).

4. Isolement et caractérisation de Plant Growth Promoting Bacteria

Les communautés microbiennes associées aux cultures qui poussent dans des conditions de stress abiotiques diverses ont fait l'objet de beaucoup d'attention, car la sécurité alimentaire liée à l'augmentation constante de la population et à l'augmentation de la production agricole est un besoin urgent au 21ème siècle. Les microbes associés aux cultures peuvent être caractérisés à l'aide de techniques dépendantes de la culture. Les microbes pourraient être isolés à l'aide de méthodes d'enrichissement et de dilution en série suivies d'une technique de propagation ou de coulée de plaques (Yadav et al. 2015). Les microbes rhizosphériques, endophytes et phyllosphériques peuvent être isolés en utilisant une méthode standard de dilution en série, de stérilisation de surface et d'impression de feuilles (Verma et al. 2015). Les différents milieux de croissance spécifiques et sélectifs doivent être utilisés pour isoler le plus grand nombre possible de morphotypes cultivables, tels qu'Arthrobacter (gélose trypticase soja), Methylobacterium (sel d'ammonium), bactéries fixatrices de N₂ (gélose Jensen N₂), Pseudomonas spp. (Agar Kings 'B), Rhizobium (mannitol de levure rouge du Congo) et actinobactéries spécifiques au sol (gélose à l'extrait de sol) (Verma et al. 2013) (Tableau. 1). Les microbes isolés doivent être examinés pour déterminer leur tolérance aux différents stress abiotiques que sont la salinité, le pH, la température et la sécheresse (Yadav et al. 2016)

Tableau 1 : Isolation et sélection de quelque du PGPR

Strains	Relevant characteristics
Bacterial strains	
<i>Bacillus</i> spp.	
<i>B. subtilis</i> UMAF6614	Antagonist of <i>P. fusca</i>
<i>B. subtilis</i> UMAF6619	Antagonist of <i>P. fusca</i>
<i>B. subtilis</i> UMAF6639	Antagonist of <i>P. fusca</i>
<i>B. subtilis</i> UMAF8404	Antagonist of <i>R. necatrix</i>
<i>B. subtilis</i> UMAF8407	Antagonist of <i>R. necatrix</i>
<i>B. subtilis</i> UMAF8417	Antagonist of <i>R. necatrix</i>
<i>B. subtilis</i> UMAF8561	Antagonist of <i>P. fusca</i>
<i>B. subtilis</i> UMAF8563	Isolated from melon rhizoplane
<i>B. cereus</i> UMAF8564	Isolated from melon rhizoplane
<i>Pseudomonas</i> spp.	
<i>P. fluorescens</i> PCL1606	Antagonist of <i>R. necatrix</i>
<i>P. fluorescens</i> UMAF6031	Isolated from melon rhizoplane
<i>P. fluorescens</i> UMAF6032	Isolated from melon rhizoplane
<i>P. fluorescens</i> UMAF6033	Isolated from melon rhizoplane
<i>P. putida</i> UMAF8036	Isolated from melon rhizoplane
<i>P. putida</i> UMAF8037	Isolated from melon rhizoplane
Fungal and bacterial phytopathogenic strains	
<i>Podosphaera fusca</i> SF48	Causes melon powdery mildew
<i>Botrytis cinerea</i> CECT2850	Causes rot of ripening fruit
<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> CECT2866	Causes crown and foot rot of tomato
<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>lachrymans</i> UMAF6002	Causes angular leaf spot

5. Effet direct des PGPR sur la plante

Les bactéries PGPR facilitent la croissance des plantes directement en aidant à l'acquisition des ressources (azote, phosphore et minéraux essentiels) ou par modulation des niveaux d'hormone végétale (Munees et Mulugeta, 2013)

5.1. Acquisition des ressources

5.1.1. Fixation d'azote

L'azote (N) est le nutriment le plus vital pour la croissance et la productivité des plantes. Bien qu'il y ait environ 78% de N_2 dans l'atmosphère. La plupart des végétaux ne peuvent l'utiliser sous cette forme inerte. Les plantes absorbent seulement les formes ioniques solubles dans l'eau qui se trouvent sous les formes nitriques ou nitrates (NO_3^-) et ammoniacales ou ammonium (NH_4^+), au niveau des racines (bio en ligne.com). Il existe plusieurs types de bactéries fixatrices de l'azote (les bactéries associatives, symbiotes et libres, vivant dans la rhizosphère) ; mais toutes les bactéries fixatrices d'azote comme *Azospirillum*, *Burkholderia* et *Gluconacetobacter* forme un complexe enzymatique appelé la nitrogénase. Et donc la fixation associative de l'azote et la promotion de la croissance végétale par les rhizobactéries se fait sur des organes végétaux spéciaux appelés nodules de racine ou de tige (Fig. 4). Les rhizobactéries fixatrices de l'azote sont importantes pour une bonne fertilisation du sol et un système agricole durable (Pereg et McMillan, 2015; Wdowiak-Wróbel et al. 2017).

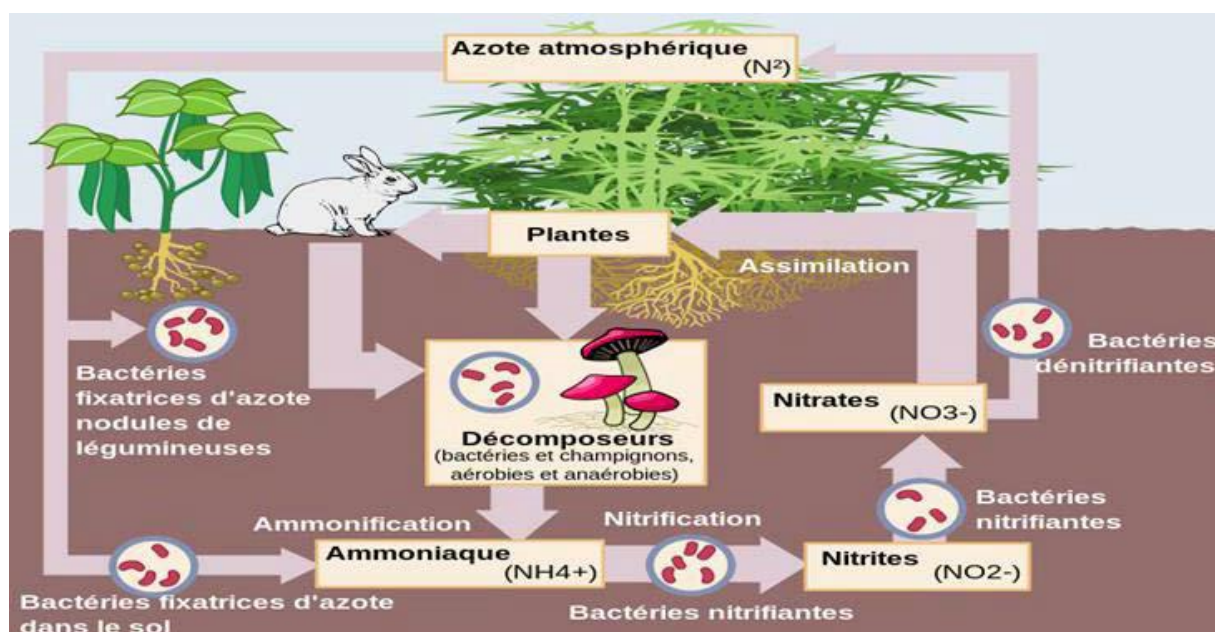


Figure 4. Représentation du cycle d'azote selon (Johann Dréo, 2006).

5.1.2. Solubilisation du phosphate

Le phosphore et le deuxième nutriment important limitant la croissance des plantes après l'azote, il est largement disponible dans le sol sous deux formes organiques et inorganiques (**khan et al. 2009**). Il joue un rôle pratiquement important dans tous les processus métaboliques majeurs dans les plantes, y compris la photosynthèse, le transfert d'énergie, la transduction du signal, la biosynthèse macromoléculaire et la respiration (**Khan et al. 2010**). Les plantes sont incapables d'utiliser le phosphate car 95 à 99% de phosphate présents sous la forme insoluble, immobilisée et précipitée. Les plantes absorbent le phosphate uniquement sous deux formes solubles: les ions monobasique (H_2PO_4) et basique (HPO_4^{2-})

(**Govind et al. 2015**). En effet, il a été démontré que certains microorganismes du sol sont impliqués dans la solubilisation des phosphates insolubles comme *Rhizobium*, *Enterbacter*, *Serratia*, *Citrobacter*, *Proteus*, *Klebsiella*, *Pseudomonas*, ou encore *Bacillus* (**Gupta et al. 2012; Panhwar et al. 2013**). 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 (**Salma, 2015**) ce qui augmente la fertilité du sol (**Gupta et al. 2012; Panhwar et al. 2013**).

5.1.3. Solubilisation du potassium

C'est le troisième nutriment majeur important pour les plantes. Les concentrations de potassium soluble dans le sol sont généralement très faibles et plus de 90% de potassium dans le sol existe sous forme de roches insolubles et de minéraux de silicate (**Parmar et Sindhu, 2013**). Certains microorganismes du sol (bactéries, champignons), comme les *Enterobacter* sont capables de dissoudre le potassium insoluble (KSB) car elles produisent de l'acide oxalique et des acides citriques et des enzymes ; parce que la plus grande partie du potassium n'est pas disponible pour l'absorption par les plantes (**Parmar et Sindhu, 2013 ; Setiawati et Mutamainnah, 2016**).

En outre, en raison de l'application déséquilibrée des engrais, la carence en potassium devient l'une des principales contraintes dans la production végétale. Sans potassium adéquat, les plantes ont des racines mal développées, poussent lentement, produisent de petites graines et ont des rendements plus faibles. (**Kumar et Dubey, 2012**).

5.1.4. La solubilisation du Zinc

Le zinc est un élément métallique ou métalloïdes dits « traces » car il est présent en faible concentration dans la croûte terrestre ou les organismes vivants. Il désigne un oligo-

élément indispensable aux processus biologiques, mais toxiques à des teneurs élevées même dans des concentrations relativement faibles. Le zinc est tout jour associé au phosphate pour être utile par la plante, et les PGPR ont la capacité de le solubiliser (Kumar *et al.* 2012).

5.1.5. Production des sidérophores

Le fer est un nutriment vital pour presque toutes les formes de vie (Neilands, 1995). Ces oligoéléments qui a suomi a une forte compétition certain bactéries sont capable de séquestrer le fer du milieu environ de X molécule appelle sidérophores. Ces siderophores se lient avec l'ion ferrique et forment un complexe siderophore-ferrique qui se lie ensuite avec des récepteurs dépendants de la suspension de fer à la surface de la cellule bactérienne. L'ion Ferrique est ensuite relâché et actif dans le cytoplasme comme ion ferreux. Beaucoup de plantes peuvent utiliser divers siderophores bactériens comme sources de fer, beaucoup de bactéries productrices de sidérophores appartiennent aux genres *Bradyrhizobium*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Serratia* et *Streptomyces* de la rhizosphère (Kuffner *et al.* 2008). Le siderophore le plus connu est l'aérobactine (Fig.5), isolée pour la première fois d'*Aerobacteraerogenes* (Gibson et Magrath, 1969).

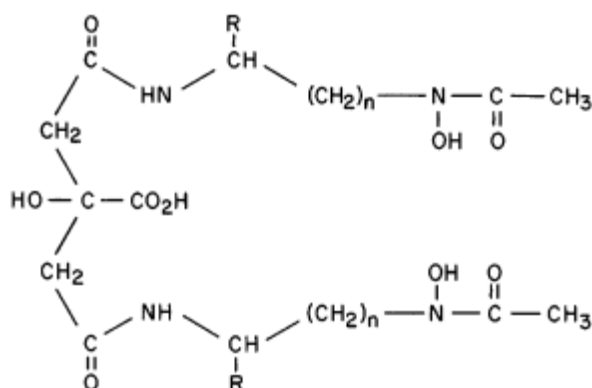


Figure 5. Structure générale des siderophores citrate-hydroxamate (Gibson et Magrath, 1969).

5.2. Production des phytohormones

Une large gamme de microorganismes trouvés dans la rhizosphère est capable de produire des substances qui régulent la croissance et le développement des plantes. Les rhizobactéries favorisant la croissance des plantes produisent des phytohormones telles que les auxines, les cytokines, les gibbérellines et l'éthylène peuvent affecter la prolifération cellulaire dans l'architecture racinaire par la surproduction de racines latérales et de racines avec un accroissement subséquent de l'apport d'éléments nutritifs et d'eau (Arora, 2013).

5.2.1. Acide Indole Acétique (IAA)

Les plantes ont développé des systèmes élaborés pour réguler les niveaux cellulaires de l'IAA (**Normanly et Bartel, 1999**). L'IAA représente l'une des hormones végétales les plus importantes, ce qui renforce de nombreux aspects de la croissance et du développement des plantes tout au long du cycle cellulaire de la plante, de la division cellulaire, de l'allongement cellulaire et de la différenciation (**Guilfoyle et al. 1998**).

Généralement, IAA affecte la division, l'extension et la différenciation des cellules végétales; Stimule la germination des semences et des tubercules; Augmente le taux de développement du xylème et des racines; Contrôle les processus de croissance végétative; Initie la formation de racines latérales et accidentelles; Médiatise les réponses à la lumière, à la gravité et à la fluorescence; Affecte la photosynthèse, la formation de pigments, la biosynthèse de divers métabolites et la résistance à des conditions stressantes. En outre, l'IAA bactériennes augmentant la surface et la longueur de la racine et fournit ainsi à la plante un meilleur accès aux nutriments du sol. En outre, l'IAA rhizobactérielle dégage les parois cellulaires de la plante et, en conséquence, facilite une augmentation de l'exsudation des racines qui fournit des nutriments supplémentaires pour soutenir la croissance des bactéries rhizosphériques (**Glick, 2012**). Il fonctionne comme une molécule signal importante dans la régulation du développement des plantes, agissant sur l'organogenèse, les réponses trophiques, les réponses cellulaires telles que l'expansion des cellules, la division, la différenciation et la régulation des gènes. Le rôle de l'AIA dans la stimulation de la croissance est obtenu en imitant l'effet de la bactérie par l'application directe de l'AIA sur les racines. Il favorise la survie des bactéries dans la rhizosphère. Les poids des tiges et des racines des plantes de blé sont influencés positivement par l'ajout de l'AIA (**Cherif, 2014**).

5.2.2. 1-Aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC) désaminase

L'ACC est le précurseur direct de l'éthylène. La bactérie *Pseudomonas sp*, et la levure *Cyberlindnera saturnus* étaient les deux premiers microorganismes signalés pour synthétiser l'ACC désaminase (**Gamalero et Glick, 2015**).

Donc la biosynthèse de l'éthylène se fait par les plantes à partir de la méthionine. La première étape est la synthèse de la S-adénosyl-méthionine, suivie de sa conversion en 1 acide aminocyclopropane-1-carboxylique (ACC). L'ACC oxydase, anciennement connue sous le nom d'enzyme formant l'éthylène (EFE), a d'abord été caractérisé par une pomme (**Adams et Yang, 1979**). L'éthylène est une phytohormone clé qui a une large gamme d'activités biologiques il est impliqué dans beaucoup de processus physiologiques, comme la

germination de la graine, la différenciation de tissus, la formation et l'élongation de la racine, le développement latéral des bourgeons, le fleurissement, l'ouverture de la fleur, la sénescence d'organe, la maturation de fruit et l'abscission de la feuille et du fruit, Activation de la synthèse d'autres hormones végétales (**Glick et al. 2007**). L'éthylène gazeux produit de manière endogène par les plantes a plusieurs effets sur leur développement et agit comme molécule secondaire de signal dans l'induction des défenses de la plante. A des concentrations élevées, l'éthylène affecte négativement de nombreuses étapes physiologiques des plantes. Une augmentation de la production d'éthylène agissant comme hormone sensitive stimule la maturation des fruits et le vieillissement des fleurs (**Cherif, 2014**).

5.2.3. Production des cytokines

Les cytokinines ce sont des hormones végétales dérivées de molécule d'adénine qu'ont la capacité d'améliorer la division cellulaire des plantes et la résistance des plantes aux facteurs nuisibles. Ils peuvent également affecter l'activité des cellules des méristèmes dans les racines, ainsi que la sénescence des feuilles (**Chanclud, 2015**). De plus, ils sont efficaces dans la formation de nodule au cours de la mise en place de la symbiose N₂-fixing et d'autres interactions entre la plante et les microbes. Parmi les souches bactériennes productrices de cytokinines associées aux racines *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Azospirillum* et *Pseudomonas*, qui peut augmenter la biomasse des racines, ainsi que la teneur en proline dans les tissus végétaux (**Miransari et Smith, 2014 ; Egamberdieva et al. 2017**). Les cytokinines sont également largement utilisées dans la bio-ingénierie et la production agricole pour des cultures cellulaires dans des bioréacteurs, pour la micropropagation de plantes cultivées, l'obtention des plantes transgéniques, et pour contrôler le sexe des plantes (**Andrabi et al. 2018**).

5.2.4. Production du cyanure d'hydrogène (HCN)

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.

6. Effet indirect des PGPR sur les plantes

6.1. Production d'enzymes lytique par PGPR : chitinase et de glucanase

L'un des principaux mécanismes utilisés par les agents de lutte biologique contre les pathogènes du sol consiste la production d'enzymes dégradant les parois cellulaires, telles que la β -1,3-glucanase, la chitinase, la cellulase et la protéase sécrétées par les souches de biocontrôle de PGPR, exerçant un effet inhibiteur direct sur la croissance des hyphes des pathogènes fongiques en dégradant leur paroi cellulaire. Les agents de lutte biologique ayant les potentiels des activités chitinolytiques, la chitine est convertie principalement en chitosan, (**Raafat et Sahl, 2009**), cette activité comprennent *B. licheniformis*, *B. cereus*, *B. circulans*, *B. subtilis* et *B. thuringiensis*. Parmi les bactéries à Gram négatif possèdent des activités chitinolytiques en distingue, *Serratia marcescens*, *Enterobacter agglomerans*, *Pseudomonas aeruginosa* et *P. fluorescens* (**Goswami et al. 2016**).

6.2. Productions des antibiotiques

Les microorganismes telluriques produisent les antibiotiques qui sont des facteurs déterminants pour la vie dans l'environnement aussi compétitif que la rhizosphère (**Mazzola et al. 1992**) la production des antibiotiques est un critère très important de compétitivités des microorganismes ou autres populations microbiennes. C'est un critère de performance pour la promotion indirecte de la croissance végétale. Il consiste les agents phytopathogènes d'origine telluriques (**Maurhofer et al. 1992**). Une gamme très large d'antibiotiques produit 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, les lipopeptide cyclique (**Duffy et Defago, 1996 ; chin-A-woeng et al. 2003 ; De Souza et al. 2003 ; Nielsen et Sorensen, 2003**).

- l'acide phénazine-1-carboxyclique a été secrété par *Pseudomonas fluorescens*, est un antibiotique pigmenté qui inhibe les la croissance des microorganismes : les bactéries ,virus ,les champignon et les protozoaires (**linda et al. 1990**).

- L'oomycine A : ce dernier est responsable de l'aptitude de *Pseudomonas* à réduire de 70% l'infection de la racine par *Pythium cotton* et de sa capacité à augmenter de 50% l'émergence des graines de coton (Shilev, 2013)

- Les rhamnolipides : *Pseudomonas aeruginosa* produit et sécrète des bio-tensioactifs glycolipides contenant du Rhamnose appelés Rhamnolipides. Ces derniers ont plusieurs applications industrielles et environnementales potentielles, y compris la production de produits chimiques fins et comme agent de contrôle biologique

Ces antibiotiques sont connus pour posséder des activités antivirales, antimicrobiennes, anti-inflammatoires, anti-oxydantes, cytotoxiques, antitumorales et agissant également sur la croissance de plantes.

6.3. Production du cyanure d'hydrogène (HCN)

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.

6.4. Induction d'un système de biorésistance

PGPR peut déclencher chez la plante un phénomène connue sous le nom d'induction de la résistance systémique qui est phénotypiquement similaire à la résistance systémique acquise qui se produit lorsque la plante active ses mécanismes de défense en réponse à une infection par un agent pathogène. Les plantes inoculées avec des PGPR peuvent également fournir une résistance systémique contre un large éventail de pathogènes végétaux. Les maladies d'origine fongique, bactérienne et virale et, dans certains cas, même les dommages causés par les insectes et les nématodes peuvent être réduits après l'application de PGPR

(Naznin *et al.* 2012). Il confère à la plante un certain degré de protection à des attaques ultérieures par un phytopathogène via la stimulation de mécanismes de défense systémique.

6.5. La 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 ces ressources nutritionnelles et ainsi, participer à la réduction des phytopathogènes telluriques par compétition (Lemanceau, 1992 ; 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 Streptomyces et Actinomycetales 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).

7. utilisation des PGPR en agri-culture

Les PGPR offrent des applications intéressantes en agriculture comme la biofertilisation et la lutte biologique par les biopesticides ainsi que des applications en phytoremédiation (Tableau 3) et d'autres applications environnementales telles que l'amélioration des reboisements des sols stériles ou chimiquement pollués (Bashan et Holguin, 2002 ; Lugtenburg et Kamilova, 2009 ; Weyens *et al.* 2009). Leurs effets positifs sur la plante se réalisent par des mécanismes d'actions directs ou indirects (Beauchamp, 1993 ; Glick, 1995 ; Somers *et al.* 2004), classent les PGPR selon leurs activités en biofertilisants (améliorent la disponibilité des nutriments aux plantes), phytostimulateurs (promotion de la croissance par la production des phytohormones), rhizoremédiateurs (dégradent les polluants organiques) et en biopesticides (biocontrôle des agents phytopathogènes).

Actuellement, diverses formulations commerciales de RFCP sont en vente. Des formulations bactériologiques de *Rhizobium spp.* sont disponibles dans plusieurs pays afin de favoriser la nodulation des légumineuses et de diminuer la fertilisation azotée des cultures. La formulation Zea-nit Plus est en vente en Italie. Il s'agit d'un inoculum à base d'*Azospirillum sp.*

Chapitre I Revue bibliographique

Développé pour inoculer le maïs (*Zea mays* L.) (J. W. Kloepper, communication personnelle). De même, la formulation Quantum 4000, à base de *Bacillus subtilis* (Ehremberf) Cohn, souche A13 (Broadbent *et al.* 1977), est commercialisée aux États-Unis pour lutter contre le *Rhizoctonia solani* Kühn chez l'arachide (*Arachis hypogaea* L.), le haricot (*Phaseolus vulgaris* L.) et le coton (*Gossypium hirsutum* L.). En Chine, des RFCP qui accroissent les rendements sont utilisées dans plusieurs cultures, et ce, depuis 1985 (J. W. Kloepper, communication personnelle). En 1987, 3,35 millions ha et plus de 48 cultures avaient été traités avec ces bactéries bénéfiques. La valeur des accroissements en rendement obtenus équivaut à plus de 60 millions de dollars canadiens.

Tableau 2. Termes adoptés pour classer les mécanismes par lesquelles les PGPR stimulent la croissance des plantes.

Source : Martinez-Viveros *et al.* (2010)

Termes	Définitions	Mécanismes	Références
Biofertilisant	Une substance contenant des microorganismes, quand elle est appliquée à la semence, la surface de la plante ou au sol, elle colonise la rhizosphère ou l'endosphère et stimule la croissance végétale par l'amélioration de la nutrition ou la disponibilité des nutriments essentiels à la plante.	<ul style="list-style-type: none"> - Fixation biologique de l'azote. - Solubilisation du phosphore insoluble. 	Vessey (2003); Somers <i>et al.</i> (2004); Fuentes-Ramírez et Caballero-Mellado (2006).
Phytostimulateur	Microorganisme ayant la faculté de produire ou changer la concentration des régulateurs de croissance tels que l'acide indole acétique AIA, l'acide gibbérelliques, les cytokinines, et l'éthylène.	<ul style="list-style-type: none"> - Production des phytohormones (auxines, cytokinines et gibbérellines) - Réduction de la concentration d'éthylène (à l'intérieur de la plante) 	Lugtenberg <i>et al.</i> (2002); Somers <i>et al.</i> (2004).
Biopesticide	Microorganisme améliorant la croissance des plantes par le contrôle des agents phytopathogènes, principalement par la production des antibiotiques et des métabolites antifongiques.	<ul style="list-style-type: none"> - Production des antibiotiques (sidérophores, HCN, métabolites antifongiques) - Production des enzymes qui dégradent les parois cellulaires des champignons. - Compétitivité à l'encontre des agents phytopathogènes, principalement par la production des antibiotiques et des métabolites antifongiques. - Résistance systémique acquise et induite. 	Vessey (2003); Somers <i>et al.</i> (2004); Chandler <i>et al.</i> (2006).

Chapitre II

Matériel et méthode

Chapitre II : Matériel et méthode

Materials et méthode :

1.Présentation des souches : Cinq souches bactériennes isoler de la rhizosphere de *Citrullus colocynthis* dans différents sites



Figure 6 : *Citrullus Colocynthis* (Slama et chergui,2019).

Tableau 3 : Les souches des bactéries et leur propriétés PGPR (Slama et chergui, 2019)

Codification des isolats	Les souches	Caractéristiques
1	E1B4	- Solubilisation du phosphore - Solubilisation du potassium - Production d'AIA
2	E2B1	
3	E3A1	
4	E3B1	
5	E3B4	

2. présentation du matériel végétal

Matériel végétal utilisé dans notre expérience des graines de blé dur (*Triticum durum* var. ain abid).

3. Le sol

Le sol utilisé dans notre expérience est un sol agricole tamisé à 2mm existant dans la faculté é de la science exacte et la science de nature et de la vie de Tébessa.

4. Protocole expérimentale

4.1. Préparation des souches

les cultures bactériennes le matériel et le lieu de travail doivent être désinfectés, Les souches rhizobactéries sélectionnées ont été repiquées individuellement sur le Milieu de culture liquide et solide.

4.1.1. Ensemencement des isolats dans milieu solide

Les cinq souche ont été ensemencées à partir de tubes Eppendorf conserves dans du glycérol à -80 c°. L'inoculation est réalisée sur boîtes de Petri , par la réalisation des stries a la surface de milieu nutritif gelose . la transplantation est realise dans des condition d'asepsie complète et consiste en une boite de propagation en chaque souche est ensemencée dans une boite de petri contenant du milieu gelose. Cela permet dobtenir des colonies individuelles Après ensemencement, les boîtes sont fermées et incubées dans une étuve à 30 ° C pendant 48 heures.

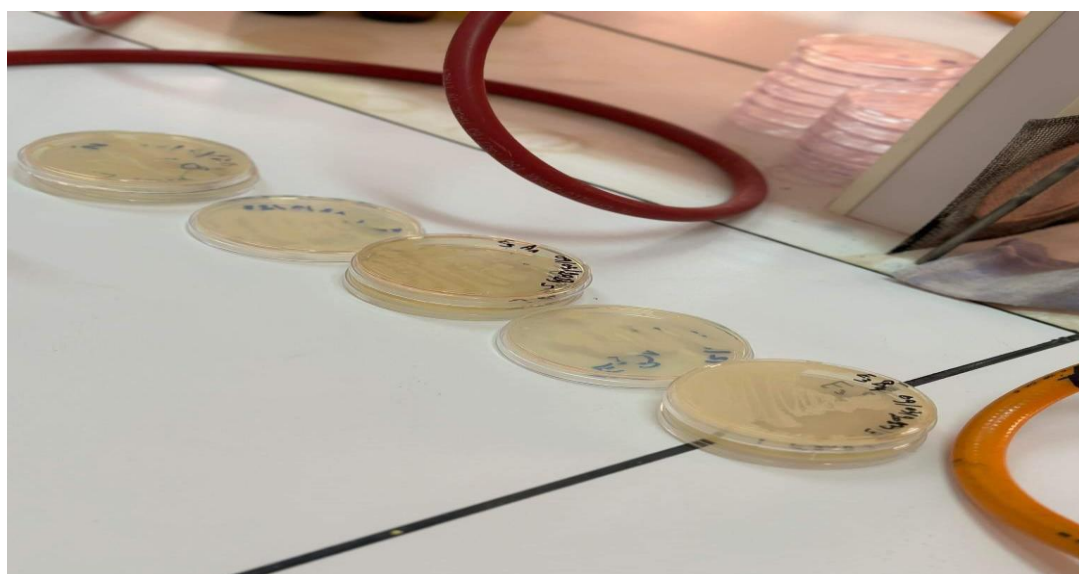


Figure 7 : Boîtes de Pétri des différentes souches bactériennes utilisées.

Chapitre II : Matériel et méthode

4.1.2. Transfert des isolats dans milieu liquide

Les bactéries sont mises en culture pendant 24 h dans le milieu liquide, La croissance est assurée à une température de 30 °C sous agitation.



Figure 8 : Cultures bactérienne dans milieu liquide.

4.2. Inoculation des graines

4.2.1. Stérilisation des grains

Immersion des graines dans de l'éthanol à 70% pendant 1 min, puis dans de l'hypochlorite de sodium à 10% pendant 2 min. Les graines ont ensuite été soigneusement lavées 10 fois avec de l'eau distillée stérile (Kun Yuan et al., 2020) .

4.2.2. Inoculation des grain

L'inoculation des graines stériles est réalisée par imbibition, chaque dix graines stériles sont placées pendant 24h dans un tube à essai avec la culture bactérienne.



Figure 9 : placées les grains dans un tube à essai avec la culture bactérienne.

5. Conditions d'expérimentation.

Les essais sont réalisés sous serre au niveau la faculté de la science exacte et la science de nature et de la vie de Tébéssa. Nous avons mis le sol dans 93 boîtes d'aluminium, dont 03 témoins. Les irrigations est assuré chaque jour par l'eau de robiné

6. Plan expérimentale L'expérimentation

Conduit sous serre avec l'installation d'un dispositif aléatoire complet (DAC) assurant trois répétitions pour chaque unité expérimentale. La répartition de ces derniers étés réalisés aléatoirement.

7. Parametres de de germination

7.1. Pourcentage de germination finale (PGF%)

Il a été compté dix jours après la plantation selon l'équation suivante décrite par Ellis et Roberts (1981).

$$PGF = \frac{\text{Nombre de grains germés}}{\text{Nombre totale des graines semi}} \times 100$$

7.2. Indice de vitesse de germination (IVG)

Compté par l'équation suivante indique par l'Association internationale d'essais de semences (ISTA, 1996) :

$$IVG = \frac{\text{Nombre de grains germés} + \dots + \text{Nombre de grains germés}}{\text{Nombre de jour du premier comptage} + \dots + \text{Nombre du jour du dernier}}$$

7.3. Pourcentage d'énergie de germination (GE %)

Il est déterminé par le pourcentage de graines germées au premier comptage (4 jours après le semis) par rapport au nombre total de graines testées comme indiqué par Ruan et al. (2002)

$$EG = \frac{\text{nombre de graines germées après quatre jours}}{\text{nombre de graines testées}}$$

7.4 . Indice de germination (IG %)

Il a été calculé comme indiqué dans la formule suivante Karim et al. (1992) sous la forme de l'équation suivante :

Chapitre II : Matériel et méthode

$$GI = \frac{\text{pourcentage de germination dans chaque traitement}}{\text{pourcentage de germination dans le témoin}}$$

7.5. Coefficient de germination (CG)

Il a été compté à l'aide de l'équation suivante selon Copeland (1976):

$$CG = \frac{100 (A_1 + A_2 + \dots + A_n)}{A_1 + T_1 + A_2 + T_2 + \dots + A_n T_n}$$

Où;

A = Nombre de graines germées.

T = Temps (jours) correspondant à A.

n = nombre. de jours jusqu'au décompte final.

7.7. Indice de vitesse de germination (SGI)

Compté par l'équation suivante (ISTA, 1996):

$$SGI = \frac{\text{nombre de graines germées} + \text{nombre de graines germées}}{\text{Nombre du jour de premier comptage} + \text{nombre du jour de dernier comptage}}$$

A : Nombre de grains germés T

N. Nombre de jour pour le comptage

8. Parametres agronomiques

les parametres agronomiques se resume dans la mesure des longueurs des parties aeriennes et racinaires, pesées des poids frais et sec des plantules apres dessiccation a 60°C pendant 24h (Ngando, 2022), la surface foliaire est determinée par l'équation suivante selon (Shabani et Sepaskhah, 2017)

SF = largeur de la feuille x longueur de la feuille x terme correctif

Terme correctif = 0,78

9. Les analyses statistiques

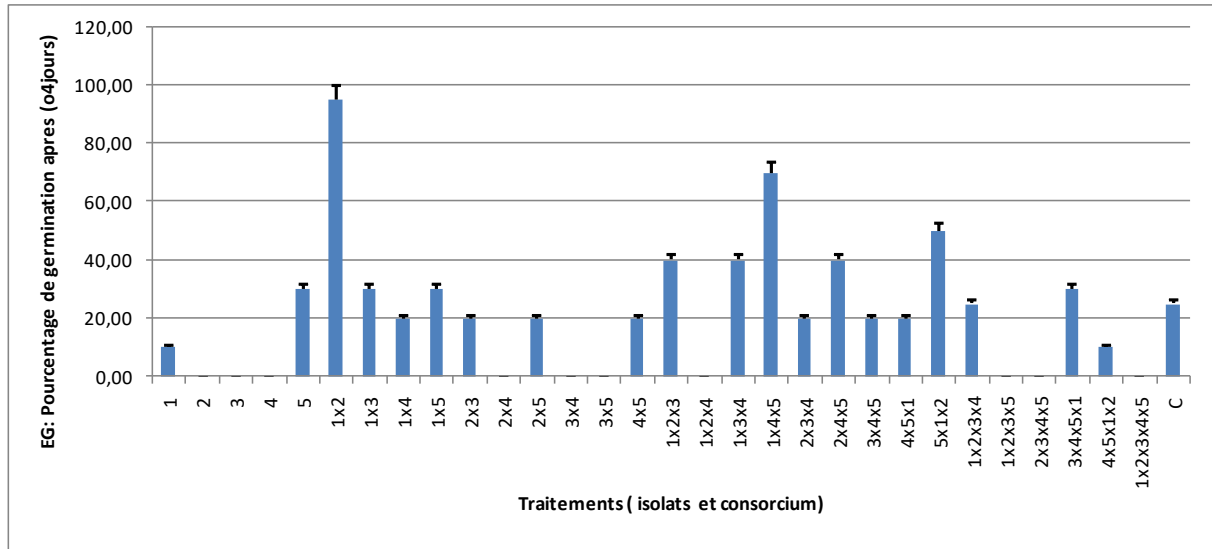
Afin de mieux exploiter les résultats obtenus, une ANOVA à un seul critère a été réalisée pour les indices de germination à une seuil de signification de 5%, suivi par un test de Tukey pour la comparaison multiple des moyennes. D'autre part, une ANOVA à deux critères a été réalisée pour les paramètres agronomiques, suivie par un test Dunnett pour comparer les moyennes au contrôle pour les inoculations, et un test de Tukey pour comparer les moyennes des durées de culture.

Chapitre III:
Resultats et discussion

10. Etude des indices de germination

10.1. Pourcentage de germination après 4 jours (PG)

Les traitements 1x2, 1x4x5 et 5x1x2 ont affiché les meilleurs effet sur pourcentage de germination des graines par contre certains traitements ont enregistré des EG nulle ou faible.



Figur 10 : Effet des traitement sur les pourcentages de germination

Les traitements n’ont montré aucun effet significatif sur le pourcentage de germination des graines cultivées.

Tableau 4 : Analyse statistique des pourcentages de germination

Source	DL	SomCar ajust	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Traitements	30	12880	429,3	1,36	0,151
Erreur	62	19533	315,1		
Total	92	32413			

10.2. Pourcentage de germination final après 8 jours

Les traitements montrent des pourcentages de germination finaux très variés Figure 11, avec la présence des traitements qui motionn s des pourcentages intéressants 3x5 et 1x2. L’analyse statistique fait apparaitre une différence non significative entre les traitements
Tableau :5

Chapitre III : Resultats et discussion

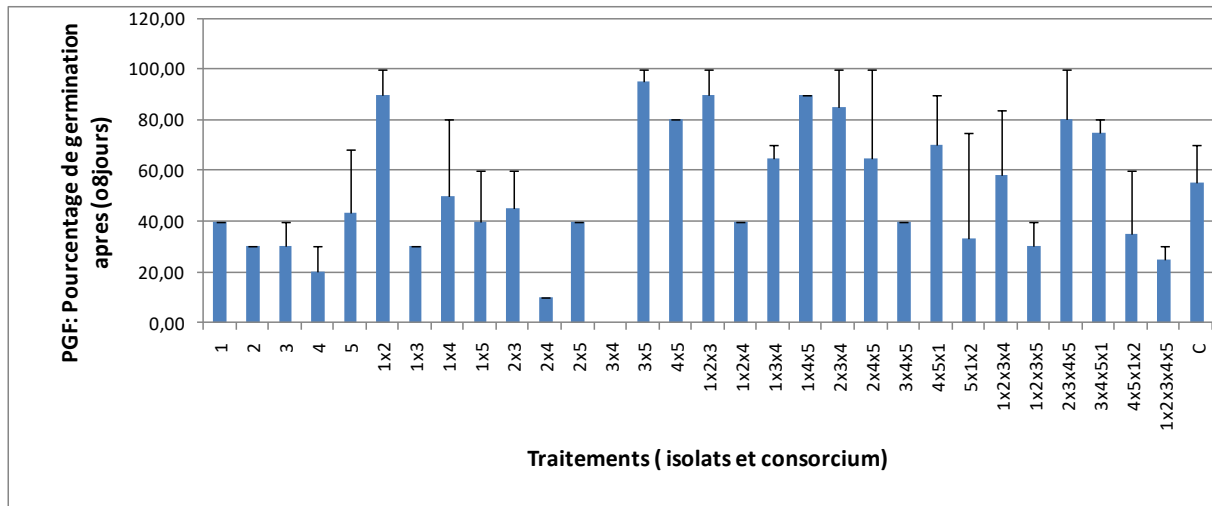


Figure 11 : Effet des traitements sur le pourcentage de germination final

Tableau 5 : Analyse statistique des pourcentages de germination finaux

Source	DL	SomCar ajust	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Traitements	30	37961	1265	1,08	0,393
Erreur	62	72867	1175		
Total	92	110828			

10.3. Indice de vitesse de germination

Les deux consortiums 1x2 et 1x4x5 ont montré les meilleures vitesses de germination en présentant une différence non significative entre l'ensemble des traitements.

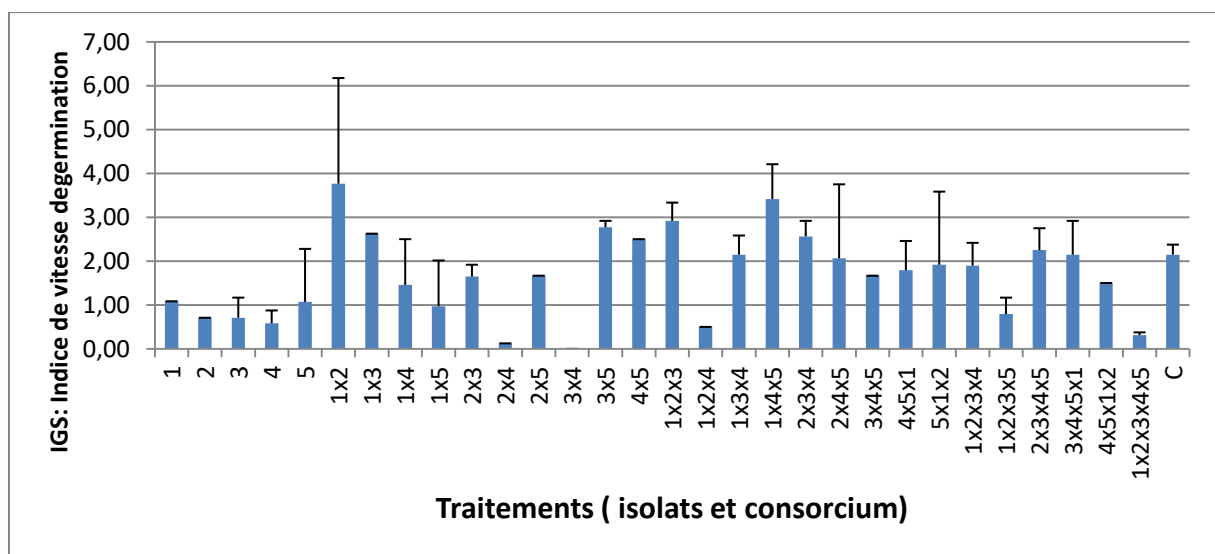


Figure 12 : Effet des traitements sur indice de vitesse de germination

Chapitre III : Resultats et discussion

Tableau 6 : Analyse statistique des **indices de vitesse de germination**

Source	DL	SomCar ajust	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Isolats	30	52,56	1,752	1,07	0,402
Erreur	62	101,61	1,639		
Total	92	154,17			

10.4. Coefficient de germination

Le consortium 1x3 a affiché le meilleur coefficient de germination par contre le traitement 3x4 a enregistré le coefficient le plus faible figure 13 L'analyse statistique révèle une différence significative entre les traitements tableau 7 Le test de comparaison multiple Annexe 1 montre que le traitement 1x3 a un effet positif sur le coefficient de germination.

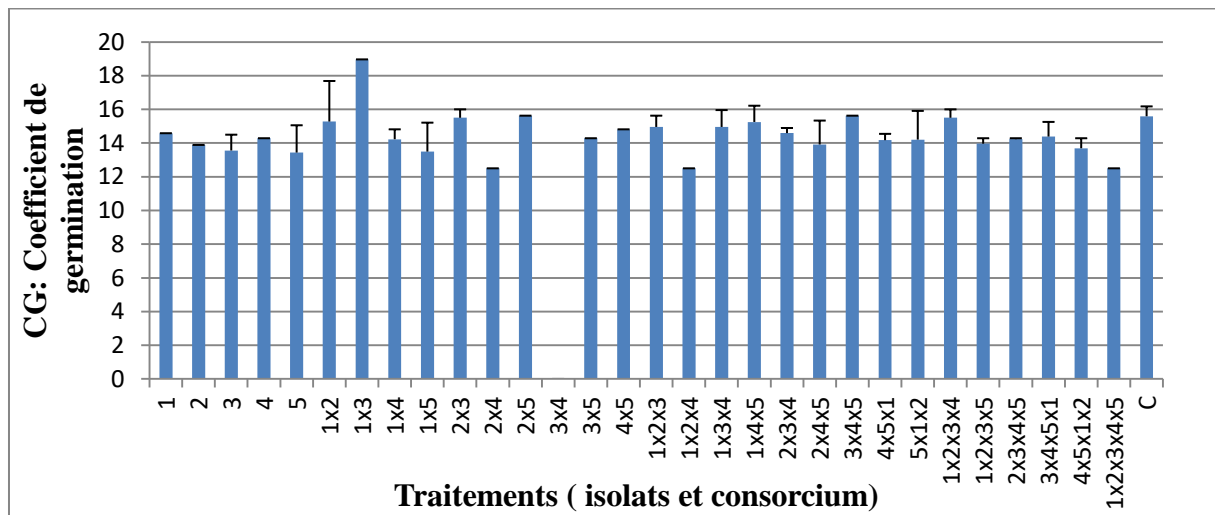


Figure 13 : Effet des traitements sur le coefficient de germination

Tableau 7 : Analyse de la variance de coefficient de germination

Source	DL	SomCar ajust	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Isolats	29	133,47	4,6023	6,22	0,000***
Erreur	60	44,37	0,7396		
Total	89	177,84			

10.5. Indice de germination

Les deux consortiums 1x2 et 3x5 ont montré les deux indices les plus élevés figure 14, ainsi que les traitements affichent une différence très hautement significative. La comparaison multiple des moyennes Annex 2 fait ressortir l'effet positif du traitement 3x5 sur l'indice de germination.

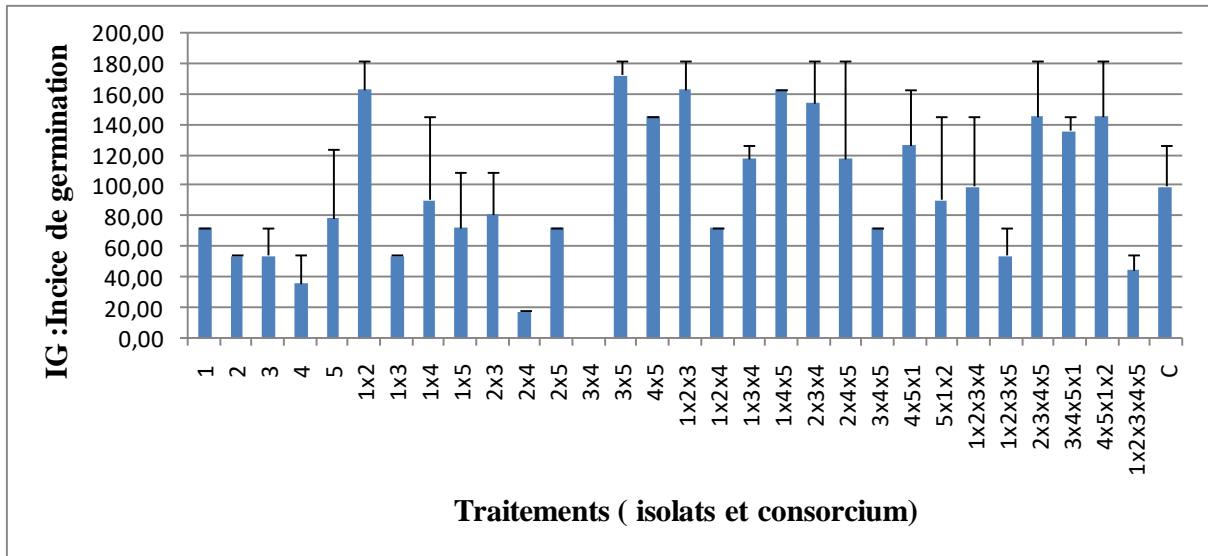


Figure 14 : Effet des traitements sur l'indice de germination

Tableau 8 : Analyse statistique de l'indice de germination

Source	DL	SomCar ajust	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Isolats	30	196540	6551,3	8,58	0,000***
Erreur	62	47328	763,4		
Total	92	243867			

11. Paramètres agronomiques

11.1. Longueur de la partie aérienne

L'histogramme Figure 15 mis en lumière l'effet efficace tardive du traitement 3x5 sur la longueur de la partie aérienne des plantules.

Chapitre III : Resultats et discussion

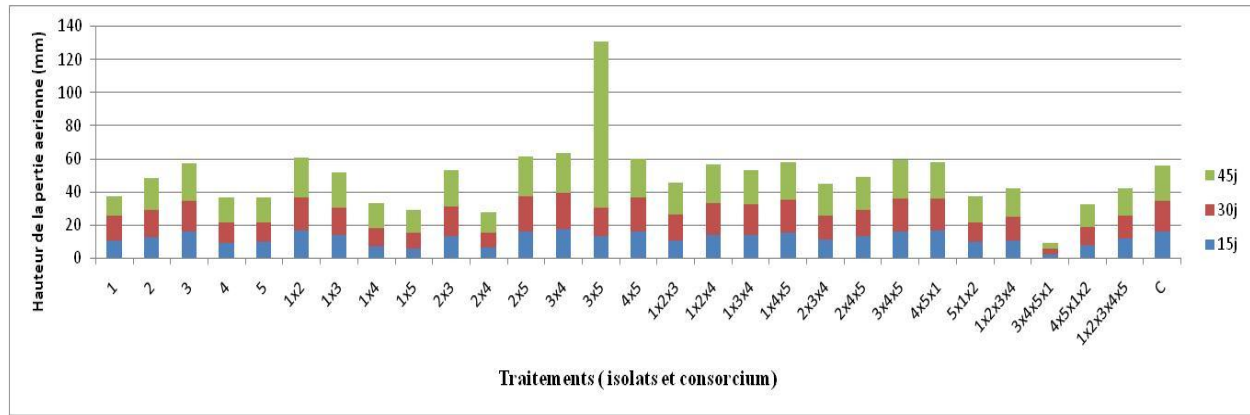


Figure 15 : Effet des traitements sur la longueur de la partie aérienne

Le temps de développement des plantules a un effet très hautement significative sur la longueur de la partie aérienne, par contre les traitements et l'interaction entre les sources de variation sont non significatifs. La comparaison des moyennes montre l'existence d'un effet tardif efficace des traitements.

Tableau 9 : Analyse statistique des effets des traitements sur la longueur de la partie aérienne

Source	DL	SomCar ajust	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Traitements	30	10172	339,1	1,43	0,081 NS
Temps	2	4065	2032,4	8,55	0,000***
Traitements*Temps	60	12511	208,5	0,88	0,718 NS
Erreur	186	44193	237,6		
Total	278	70941			

11.2 Longueur des racines (LDR)

En ce qui concerne la longueur des racines, les traitements montrent des résultats différents (**Figure 16**). Les traitements 1x2 et 2x4x5 ont affiché la longueur des racines la plus élevée avec 37 cm de longueur et le traitement (1) a montré la plus faible longueur de racine 16 cm après 45 jours.

Chapitre III : Resultats et discussion

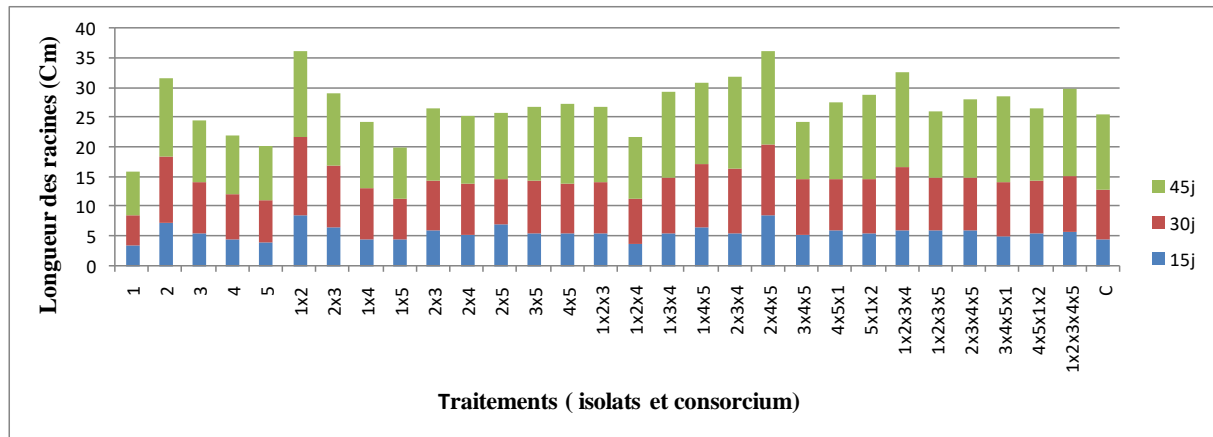


Figure 16 : Effet des traitements sur la longueur des racines

L'analyse statistique montre un effet très hautement significative des traitements et entre les durée d'observation tandis que l'interaction entre les deux sources de variation est non significative. Le test de comparaison multiple (Annexe 3) des traitements montre que les deux traitements 2x3x4 et 1x2 ont amélioré la longueur des racines par rapport au contrôle d'autre part la longueur des racines la plus importante été enregistrée après 45 jours de culture.

Tableau 10 : Analyse statistique d'effet des traitements sur la longueur des racines

Source	DL	SomCar ajust	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Traitements	30	587,9	19,60	6,44	0,000***
Temps	2	2027,9	1013,93	333,24	0,000***
Traitements*Temps	60	170,8	2,85	0,94	0,609 NS
Erreur	186	565,9	3,04		
Total	278	3352,5			

Nos résultat sont en accord avec ceux de plusieurs auteurs (Smith, 2001) ;(López et al., 2003) et(Bouras., 2018)qui stipulent que cette augmentation de longueur racinaires s'accompagne d'une meilleure absorption des nutriments. L'absorption des nutriments par les plantes inoculées avec des souches efficaces a été attribuée à la production de régulateurs de croissance des plantes par les bactéries à l'interface des racines, ce qui a stimulé le développement des racines et a entraîné une meilleure absorption de l'eau et des nutriments du sol, comme indiqué par (Lifshitz et al., (1987).

11.3. Le poids frais (PF)

L'histogramme de l'effet des traitements sur le poids frais des plantules de blé, fait ressortir que les traitements 1x2, 1x3, 4x5 et 1x4x5 ont enregistré les meilleurs poids frais des traitements (figure 17).

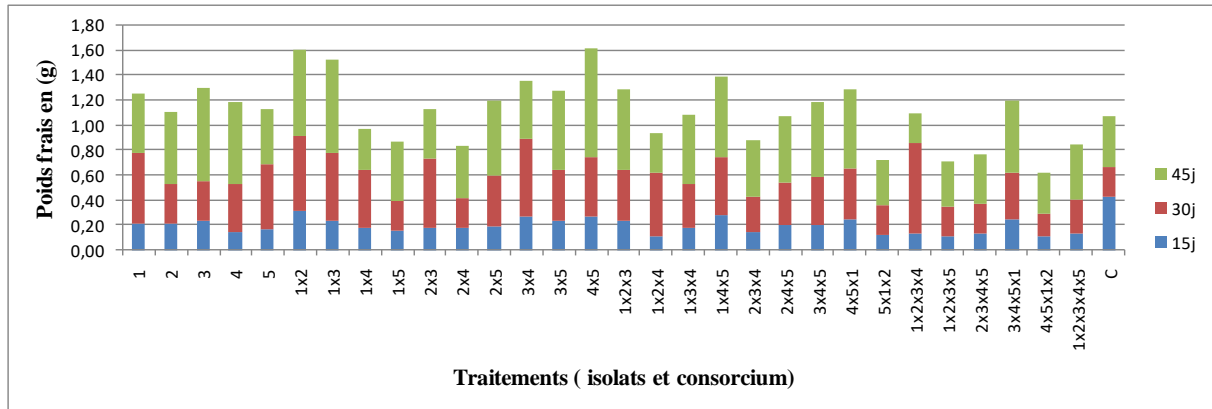


Figure 17 : l'effet des traitements sur le poids frais des plantules de blé

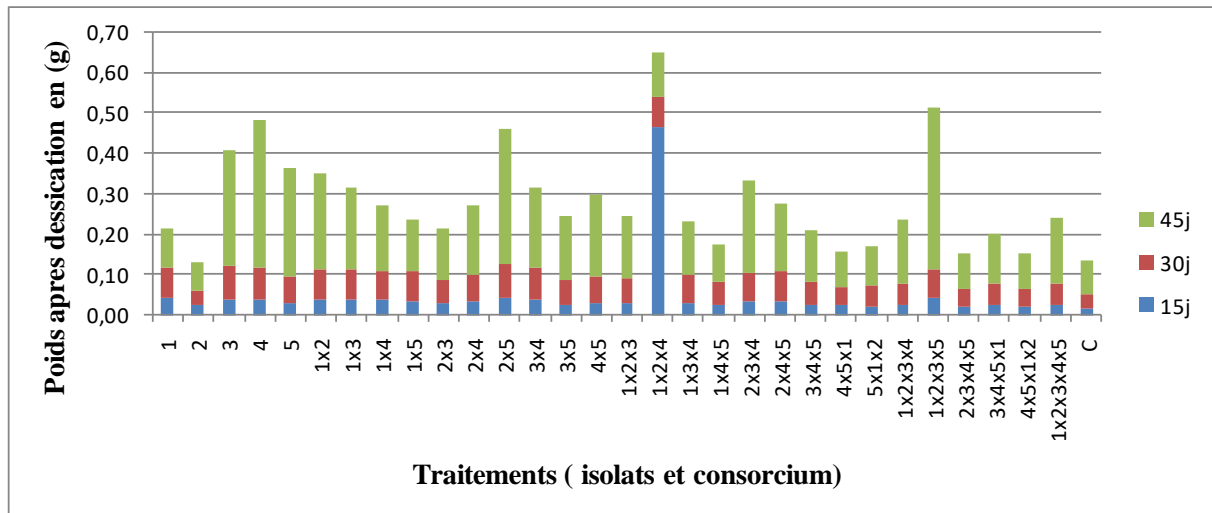
Les traitements et le temps ont des effets très hautement significative sur le développement des plantules, et l'interaction entre les deux niveaux de variation reste non significative. Par ailleurs les comparaisons multiples (Annexe 4) mettent en lumière l'efficacité des traitements 4x5, 1x2 et 1x3 par rapport au contrôle après 45 jours de culture

Tableau 11 : Analyse statistique d'effet des traitements sur le poids frais

Source	DL	SomCar ajust	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Traitements	30	1,968	0,06560	2,37	0,000***
Temps	2	4,672	2,33588	84,32	0,000***
Traitements*Temps	60	2,150	0,03583	1,29	0,100 NS
Erreur	186	5,152	0,02770		
Total	278	13,942			

11.4. Poids après dessiccation (PS)

Les traitements ont donné des poids secs différents, par contre le traitement 1x2x4 qui a enregistré le meilleur score signalant son effet efficace précoce dans les premiers 15 jours de culture par contre les traitements 2, 2x5 et 5 ont un effet efficace tardif sur le poids sec des plantules.



La figure 18 : Effet des traitements sur le poids après dessiccation

Les traitements ont un effet significatif et le temps à un effet très hautement significatif par ailleurs l'interaction entre les sources de variations est tres significative. Les comparaisons multiples (Annexe :5) éclaircie l'effet combiner des traitements et le temps de culture

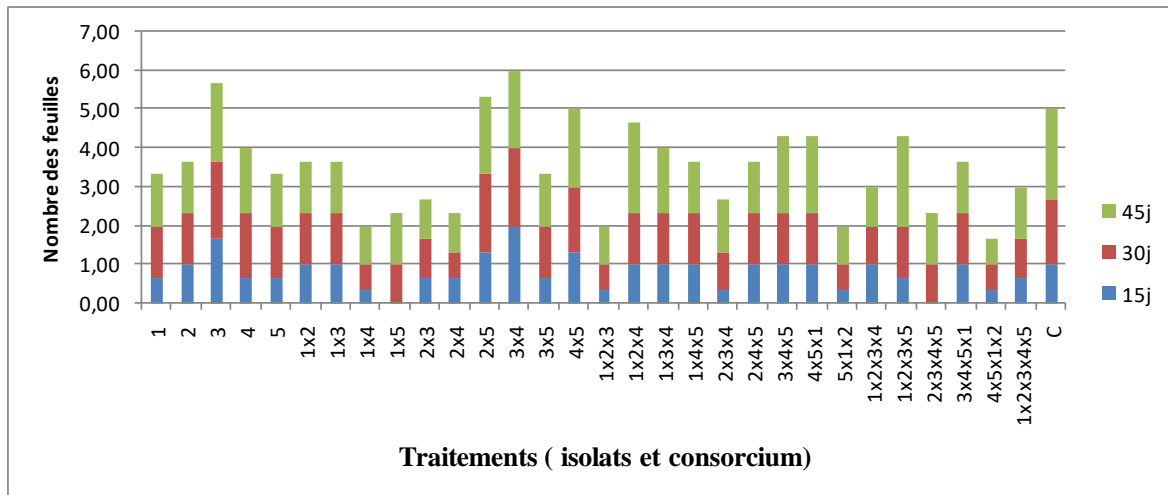
Tableau 12 : Analyse de la variance du poids après dessiccation

Source	DL	SomCar ajust	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Traitements	30	0,4412	0,014708	1,81	0,010 *
Temps	2	0,8579	0,428973	52,79	0,000***
Traitements*Temps	60	0,7878	0,013130	1,62	0,008**
Erreur	186	1,5115	0,008126		
Total	278	3,5985			

11.5. Nombre des feuilles (NbrF)

Les traitements 3, 2x5 et 3x4 figure 19 ont enregistré les meilleurs nombre des feuilles après 45 jours de culture assurant ainsi une augmentation tardive efficace de nombre des feuilles avec une moyenne de 5 a 6 feuilles. Néanmoins les traitement 1,2,4 ,5,1x2, 1x3 ont montré le nombre de feuilles le plus faible.

Chapitre III : Resultats et discussion



La figure 19: Effet des traitements sur le nombre des feuilles

Les traitements et le temps ont montré une différence très hautement significative et une différence non significative pour leur interaction. Les comparaisons multiples font ressortir que les effets des traitements 3 et 3x4 sont tardifs après 30 et 45 jours.

Tableau 13 : Analyse statistique des nombre des feuilles

Source	DL	SomCar ajust	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Traitements	30	38,93	1,2977	2,46	0,000***
Temps	2	21,99	10,9928	20,86	0,000***
Traitements*Temps	60	10,01	0,1669	0,32	1,000 NS
Erreur	186	98,00	0,5269		
Total	278	168,93			

11.6. Surface foliaire (SF)

Les consortiums 1x2, 2x5, 3x4, 4x5, 1x4x5 et 3x4x5x1 figure 20 ont donné les meilleurs surfaces foliaires, enregistré après 45 jours de culture

Chapitre III : Resultats et discussion

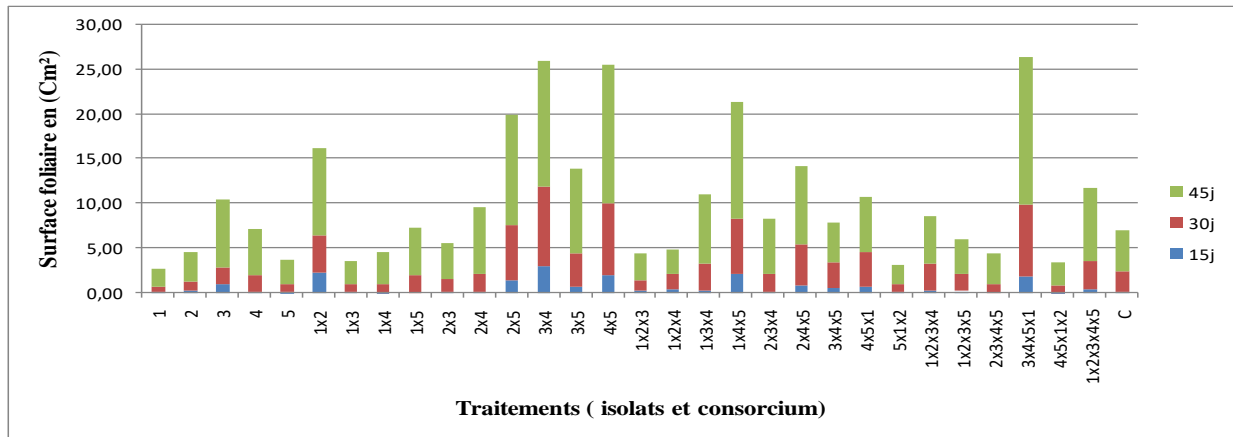


Figure 20 : Effet des traitements sur la surface foliaire

Les traitements et la durée de culture ont affiché des différences très hautement significatives, et l'interaction entre ces deux sources de variation est non significative. Les tests de comparaison multiple montrent que certains consortiums ont un effet efficace sur l'augmentation de la surface foliaire.

Tableau 14 : Analyse statistique de la surface foliaire

Source	DL	SomCar ajust	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Traitements	30	1459,8	48,658	6,95	0,000***
Temps	2	1854,4	927,200	132,44	0,000***
Traitements*Temps	60	524,7	8,744	1,25	0,133 NS
Erreur	186	1302,2	7,001		
Total	278	5141,0			

12. Discussion

Les résultats obtenus demeurent d'une importance stratégique pour planifier d'autres plans expérimentaux pour satisfaire certain question en relation avec la recherche scientifique. D'autre part des travaux de recherche sur la détection des consortiums efficaces qui améliorent le développement et les rendements des cultures ont signalé l'expansion de l'utilisation de différents consortiums microbiens, ainsi qu'une augmentation de la recherche sur différents mélanges de micro-organismes qui facilitent d'avoir les meilleurs résultats et les plus cohérents sur le terrain (Santoyo et al., 2021).

Bien que les PGPR soient colonisés dans ou près de la racine de la plante, leur vague d'efficacité frappe le seuil des principaux aspects fonctionnels de la plante entière. Les PGPR fournissent un large éventail de rôles rémunérateurs à leur plante hôte, à savoir l'amélioration de la vigueur de germination, la croissance des racines et des pousses, l'efficacité photosynthétique, la floraison, le rendement des cultures, la résistance aux maladies (Mondal et al., 2020)

L'inoculation de consortiums microbiens a produit plus de racines secondaires, qui accumulent plus de minéraux et transportent des substances vers les différentes parties de la plante ; ainsi, il a produit une biomasse et une croissance plus élevées. Les résultats obtenus ont révélé que le traitement avec des consortiums microbiens pourrait atténuer les effets délétères du stress salin et améliorer la croissance des plants de tomates sous stress salin. Les consortiums microbiens semblent être la meilleure approche alternative, rentable et durable pour gérer la salinité des sols et améliorer la croissance des plantes dans des conditions de stress (Kapadia et al.,2021)

Afin de refléter efficacement les réponses physiologiques des plantes aux consortiums, plusieurs indices ont été calculés. Ces indices étaient la diminution relative de la biomasse végétale, la diminution relative du poids frais de la plante, la diminution relative de la hauteur de la plante les résultats obtenus ont montré une amélioration efficace des consortiums de l'ensemble des paramètres étudiés (Li et al., 2021).

D'autre part Les semences du maïs inoculées ont été testées sur le terrain. Un dispositif en blocs randomisés a été utilisé. Les PGPR utilisés étaient des organismes uniques, des consortiums de deux et trois organismes. La longueur des feuilles, des racines et de la tige, la hauteur de la plante, le nombre de feuilles et le poids de 100 graines ont été relevés aux quatrième et huitième semaines après la plantation. Les consortiums microbiens ont augmenté les paramètres de croissance par rapport aux traitements avec un seul inoculant.

Ainsi, ils peuvent également servir d'alternatives fiables aux engrais chimiques (Olanrewaju et Babalola, 2019)

Par ailleurs d'autres travaux scientifique avance que les PGPR n'avait aucun effet significatif sur la germination des graines d'herbe de sel, mais avait un effet significativement positif sur la production de biomasse végétale dans un sol contaminé recouvert d'une couche superficielle de terreau. L'inoculation de PGPR a augmenté de 4 fois la biomasse végétale dans un sol stérilisé et de 6,6 fois dans un sol non stérilisé. Dans cette étude, nous avons rapporté la capacité de solubilisation du phosphate de *Serratia proteamaculans* et démontré l'utilisation de PGPR pour favoriser la croissance de l'herbe salée dans un sol contaminé par des hydrocarbures (Xia et al., 2020)

Dans les travaux de Kumar,(2021) trois souches PGPR efficaces isolées ainsi qu'une souche collectée *Pseudomonas aeruginosa* ont été sélectionnées pour préparer différentes bio-formulations pour améliorer la croissance des plantes et le rendement du blé dans des conditions sous serre et dans le champ. Combinaison tétra comprenant *Bacillus megaterium* + *Arthrobacter chlorophenolicus* + *Enterobacter sp.* + *P. aeruginosa* a montré une augmentation significative de la hauteur des plantes (24,56 % et 47,06 %), du rendement en grains (75,80 % et 40,09 %) et du rendement en paille (76,55 % et 42,63 %) suivi de deux tri-inoculations de *B. megaterium* + *A. chlorophenolicus* + *P. aeruginosa* et *A. chlorophenolicus* + *Enterobacter spp.* + *P. aeruginosa* par rapport au contrôle dans le cadre des expériences sous serre et dans le champ, respectivement. De même, les tétra- et tri-inoculations ont entraîné une augmentation significative du poids spécifique et de l'acquisition de nutriments par le blé par rapport au témoin. Par conséquent, la tétra-inoculation de *B. megaterium* + *A. chlorophenolicus* + *niterobacter spp.* + Les souches de *P. aeruginosa* peuvent être utilisées comme un consortium PGPR efficace pour améliorer la production de blé.

13. Conclusion et perspectives

Cette contribution à l'étude des effets des inoculations unique et co-inoculation multiple des graines de blé avec des PGPR endophytique et associees a la rhizosphere de *Citrilus colosynthis* a révélée que l'ensemble des traitements ont un effet non significatif sur le pourcentage de germination, le pourcentage de germination finale, vitesse de germination et

Chapitre III :Resultats et discussion

la longueur de la partie aérienne. Par contre on signale des différences très hautement significatives des traitements sur le coefficient de germination, indice de germination et le reste des paramètres agronomiques étudiés suite a ces résultats obtenus on peut avancer que les inoculations des graines de blé par des PGPR est un moyen tres efficace pour améliorer le croissance des plantules.

Il est très intéressant de continuer ce travail par des essais au champ afin de valoriser nos co-inoculations efficace comme biofertilisateur. Chercher a identifié la position taxonomique exacte des isolats.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

A

Adams D.O, Yang F. 1979. Ethylene biosynthesis: identification of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid as an intermediate in the conversion of methionine to ethylene. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A, 76, 170-174.

Andrabi S.B.A, Tahara M, Matsubara R, Toyama T, Aonuma H, Sakakibara H, Suematsu M, Tanabe K, Nozaki T, Nagamune K. 2018. Plant hormone cytokinins control cell cycle progression and plastid replication in apicomplexan parasites. Parasitol. Int. 67, 47–58.

Arora NK, Tewari S, Singh R. 2013. Multifaceted Plant-Associated Microbes and Their Mechanisms Diminish the Concept of Direct and Indirect PGPRs. In: Arora NK (ed). Plant Microbe Symbiosis: Fundamentals and Advances. Springer, 411-449.

Askeland, R.A., Morrison, S.M., 1983. Cyanide production by *Pseudomonas fluorescens* and *Pseudomonas aeruginosa*. Applied and Environmental Microbiology **45**, 1802-1807.

B

Bais, H.P., Park, S.W., Weir, T.L., Callaway, R.M., Vivanco, J.M., 2004. How plants communicate using the underground information superhighway. Trends in Plant Science **9**, 26-32.

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 soil biochemistry **19**, 451-457.

Bashan Y, Holguin G. 2002. Plant growth-promoting bacteria: a potential tool for arid mangrove reforestation. Trees, 16, 159-166.

Beauchamp C.J. 1993. Mode d'action des rhizobactéries favorisant la croissance des plantes et potentiel de leur utilisation comme agent de lutte biologique. Phytoprotection, 1 (74) ,19-27p.

Beauchamp C.J. 1993. Mode of action of plant growth-promoting rhizobacteria and their potential use as biological control agents. Phytoprotection, 71, 19-27.

Bio en ligne.com

Bonkowski, M., Geoghegan, I.E., Birch, A.N.E., Griffiths, B.S., 2001. Effects of soil decomposer invertebrates (protozoa and earthworms) on an above-ground phytophagous insect (cereal aphid), mediated through changes in the host plant. Oikos **95**, 441-450.

Bric, Bostock, Silverstone. 1991. Rapid in situ assay for indoleacetic acid production by bacteria immobilized on a nitrocellulose membrane. Appl Environ Microbiol, 57(2): 535-538.

Broadbent P, K.F, Bakker F, Franks, J. Holland. 1977. Effect of *Bacillus* spp. On increased growth of seedlings in steamed and nontreated soil. Phytopathology, 67: 1027-1034.

C

Cappucino, Sherman. 1992. Nitrogen Cycle. In: Microbiology: A Laboratory Manual. (4th edn), Benjamin/Cumming Pub Co, New York, USA, pp. 311-312.

Références bibliographiques

Chanclud E. 2015. Etude du rôle des cytokinines végétales et fongiques dans l'interaction riz-Magnaportheoryzae. BGPI - Biol. Génétique Interact. Plantes-Parasites Pour Prot. Intégrée 1.

Cheng, W., Coleman, D.C., Caroll, C.R., Hoffman, C.A., 1994. Investigating short term carbon flows in the rhizospheres of different plant species, using isotopic trapping. *Agronomy Journal* **86**, 782-788.

Cherif Hafsa., 2014. Amélioration de la croissance du blé dur en milieu salin par inoculation avec *Bacillus* sp. Et *Pantoea* agglomerans isolées de sols arides. Thèse de doctorat. Laboratoire de Microbiologie Appliquée. Université Ferhat Abbas Sétif 1.

Chin-A-Wong T. F, Bloemberg G. V, Lugtenberg B. j. 2003. Phenazines and their role in biocontrol by pseudomonas bacteria. *New Phytologist*, 157 ,503-523

CÔME, D., (1975). Quelques problèmes de terminologie concernant les semences et leur germination. In *La germination des semences*, Gauthier-Villars, Paris, 1 1-26.

Copeland, L.O. (1976). Principles of Seed Science and Technology, Burgess Pub. Com., Minneapolis, Minnesota, pp: 164-165.

D

Darrah, P. R., 1993. The rhizosphere and plant nutrition: a quantitative approach, *Plant and Soil* **156**, 1-20.

De Souza j.T, Mazzola M, Raaijmakers j. M. 2003. Conservation of the response regulator gene *gacA* in pseudomonas species. *Environmental microbiology*, 5, 1328-1340.

Defago, G., Haas, D., 1990. Pseudomonads as antagonists of soilborne plant pathogens: mode of action and genetic analysis. *Soil Biochemistry* **6**, 249-291.

DORAN, (J. C.), GUNN (V.), (1986). Treatments to promote seed germination in Australian acacias In *Australian Acacias in Developing Countries*, JW Turnbull Ed, Gympie, Australia, 57-63.

Duffy B. K, Defago G. 1996. Environmental factors modulating antibiotic and siderophore biosynthesis by *Pseudomonas fluorescens* biocontrol strains. *Applied and Environmental microbiology*, 65, 2429-2438

Duncan, D.B. (1955). Multiple range and multiple F test. *Biometrics*, 11: 1-42.

E

Ellis, R.A. and E.H. Roberts (1981). The quantification of ageing and survival in orthodox seeds. *Seed Sci. and Tech.*, 9: 373-409.

F

FAO, (2015), World fertilizer trends and outlook to 2018.

Fasim, Ahmed, Parsons, Gadd G. 2002. Solubilization of zinc salts by a bacterium isolated from the air environment of a tannery. *FEMS Microbiol Lett*, 213 (1): 1-6.

Gamalero E, Glick B.R. 2015. Bacterial Modulation of Plant Ethylene Levels. *Plant Physiol*, 169, 13-22.

Références bibliographiques

G

- Gibson F, Magrath D. J. 1969.** Biochim. Biophys. Acta, 192, 175–187.
- Glick B.R. 1995.** The enhancement of plant growth by free-living bacteria. Canadian Journal of Microbiology, 41, 109-117.
- Glick B.R. 2012.** Plant Growth-Promoting Bacteria: Mechanisms and applications Hindawi Publishing Corporation, Scientifica.
- Glick, B. R. (1995).** The enhancement of plant growth by free living bacteria. Canadian Journal of Microbiology, 41, 109–117. doi:10.1139/m95-015.
- Gomez, K.A. and A.A. Gomez (1984).** Statistical Procedures for Agricultural Research. 2nd Ed., John Wiley and Sons Inc., New York, pp: 95-109.
- Goswami D, Thakker J.N, Dhandhukia P.C. 2016.** Portraying mechanics of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): A review. Cogent Food Agric. 2.
- Govind G, Shailendra Singh Parihar, Narendra Kumar Ahirwar, Sunil Kumar Snehi, Vinod S. 2015.** Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR): Current and Future Prospects for Development of Sustainable Agriculture. MicrobBiochemTechnol, 7:2.
- Gupta M, Kiran S, Gulati A, Singh, B, Tewari R. 2012.** Isolation and identification of phosphate solubilizing bacteria able to enhance the growth and aloin-A biosynthesis of Aloe barbadensis Miller. Microbiol. Res. 167, 358–363.

H

- Hawes, M.C., 1998.** Function of root border cells in plant health: pioneers in the rhizosphere. Annual Review of Phytopathology 36, 311-327
- Hiltner, L., 1904.** Über neuere erfahrungen und probleme auf dem gebeit der bodenbakteriologie und unter besonderer berucksichtigung der grundung und brache. Arbeit und Deutsche Landwirtschaft Gesellschaft 98, 59-78.
- Hirsch, A.M., Bauer, W.D., Bird, D.M., Cullimore, J., Tyler, B., Yoder, J., 2003.**
- Hu, Chen, Guo. 2006.** Two Phosphate- and Potassium-solubilizing Bacteria Isolated from Tianmu Mountain, Zhejiang, China. World J MicrobiolBiotechnol, 22(9): 983-990.

I

- International Seed Testing Association "ISTA" (1996).** International Rules for Seed Testing. Seed Sci. and Tech., 21: 25-254.

J

- Jacobson, Pasternak, Glick. 1994.** Partial purification and characterization of 1-aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase from the plant growth promoting rhizobacterium *Pseudomonas putida* GR12-2. Can J Microbiol, 40(12): 1019-1025.
- Johann Dréo. 2006.** Réponse de la flore, de la faune, du sol et de leur substrat à l'introduction d'espèces exotique envahissantes végétale. Sous licence CC BY-SA 2.5.

K

- Kapadia, C., Sayyed, R. Z., El Enshasy, H. A., Vaidya, H., Sharma, D., Patel, N., ... & Zuan, A. T. K. (2021).** Halotolerant microbial consortia for sustainable mitigation of salinity

Références bibliographiques

stress, growth promotion, and mineral uptake in tomato plants and soil nutrient enrichment. *Sustainability*, 13(15), 8369.

Karim, M.A.; N. Utsunomiya and S. Shigenaga (1992). Effect of sodium chloride on germination and growth of hexaploid triticale at early seedling stage. *Japanese J. of Crop Sci.*, 61: 279 – 284.

Kempf H. J, Wolf G. 1989. *Erwinia horvicia* as a biocontrol agent of *Fusarium culmorum* and *Puccinia recondita* f. sp. *Tritici* on wheat. *Phytopathology*, 79, 990-994.

Khan M.S, Zaidi A, Wani P.A, Oves M. 2009. Role of plant growth promoting rhizobacteria in the remediation of metal contaminated soils. *Environ. Chem. Lett*, 7, 1–19.

Khan M.S, Zaidi A, Wani P.A, Oves M. 2009. Role of plant growth promoting rhizobacteria in the remediation of metal contaminated soils. *Environ. Chem. Lett*, 7, 1–19.

Khan MS, Zaidi A, Ahemad M, Oves M, Wani PA. 2010. Plant growth promotion by phosphate solubilizing fungi - current perspective. *ArchAgronSoilSci*, 56:73-98.

King, E. O., Ward, M. K., & Raney, D. E., (1954). Two simple media for the demonstration of pyocyanin and fluorescin. *The journal of laboratory and clinical medicine*, 44(2), 301-307.

Knowles, C.J., Bunch, A.W., 1986. Microbial cyanide metabolism. *Advances in Microbial Physiology* 27, 73-111.

Kuffner M, Puschenreiter M, Wieshammer G, Gorfer M, Sessitsch A. 2008. Rhizosphere bacteria affect growth and metal uptake of heavy metal accumulating willows. *Plant Soil*, 304: 35- 44.

Kumar P, Dubey R.C, Maheshwari D.K. 2012. *Bacillus* strains isolated from rhizosphere showed plant growth promoting and antagonistic activity against phytopathogens. *Microbiol. Res.* 167, 493–499.

Kumar P, Dubey RC, 2012. Plant Growth Promoting Rhizobacteria for Biocontrol of Phytopathogens and Yield Enhancement of *Phaseolus vulgaris*. *J CurrPersApplMicrobiol*, 1: 6-38.

Kumar, A., Maurya, B. R., & Raghuwanshi, R. (2021). The microbial consortium of indigenous rhizobacteria improving plant health, yield and nutrient content in wheat (*Triticum aestivum*). *Journal of Plant Nutrition*, 44(13), 1942-1956.

Kun Yuan, M, Reckling., M. D, Artigas Ramirez., S, Djedidi., I, Fukuhara, T, Ohyama., T, Yokoyama, S. D, Bellingerite-Kimura., M, Halwani., D, Egamberdieva., and N, Ohkama-Ohtsu., (2020). Characterization of Rhizobia for the Improvement of Soybean Cultivation at Cold Conditions in Central Europe. *Microbes Environ.* Vol. 35,2- 13. Dio :10.1264/jsme2.ME19124.

L

Lemanceau.1992. Effets bénéfique de rhizobactéries sur les plantes. Exemple des *Pseudomonas fluorescens* *Agronomie*, 12 ,413-437.

Références bibliographiques

Li, H., La, S., Zhang, X., Gao, L., & Tian, Y. (2021). Salt-induced recruitment of specific root-associated bacterial consortium capable of enhancing plant adaptability to salt stress. *The ISME Journal*, 15(10), 2865-2882.

Li, J.M., Kremer R.J., 2000. Rhizobacteria associated with weed seedlings in different cropping systems. *Weed Science* **48**, 734-741.

Linda S. Thomashow, David M. Weller, Robert F. Bonsall, Leland S. Pierson. 1990. Production of the Antibiotic Phenazine-1-Carboxylic Acid by Fluorescent *Pseudomonas* Species in the Rhizosphere of Wheat. U.S. Department of Agriculture, Washington State University. 56(4)pp 908–912.

Lucy M, Peed E, Glick B. R. 2004. Applications of free living plant Growth –promoting rhizobacteria. *Antonie van Leeuwenhoek*86, 1---25.

Lugtenberg B, Kamilova F. 2009. Plant-growth-promoting rhizobacteria. *Annual Review of Microbiology*, 63, 541-556.

Lugtenberg B, Kamilova F. 2009. Plant-growth-promoting rhizobacteria. *AnnuRevMicrobiol*, 63:541–556.

M

Martínez-Viveros, O., Jorquera, M.A., Crowley, D.E., Gajardo, G., Mora, M.L., 2010.

Maurhof M, Keel C, Schnider U, Vousard C , Hass , Defago G. 1992. Influence of enhanced antibiotic production in *Pseudomonas fluorescens* strain CHAO on its disease suppressive capacity. *Phytopathology*, 82, 190-195.

MazzolaM , Cook R . J, Thomashow L. S, Weller D. M, Pierson L. S . 1992. Contribution of phenazine antibiotic biosynthesis to the ecological competence of fluorescent *pseudomonas* in soil habitats. *Applied and Environmental microbiology*, 58, 2616-2624.

Mccarthy A.J, Williams S.T. 1992. Actinomycetes as agents of biodegradation in the environment. *Gene*, 115, 189-192.

Mechanisms and practical considerations involved in plant growth promotion by rhizobacteria. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* **10**, 293-319.

Miransari M, Smith D.L. 2014. Plant hormones and seed germination. *Environ. Exp. Bot.* **99**, 110–121.

Molecular signals and receptors: Controlling rhizosphere interactions between plants and other organisms. *Ecology* **84**, 858-868.

Molope, M.B., Grieve, I.C., Page, E.R., 1987. Contributions by fungi and bacteria to aggregate stability of cultivated soils. *Journal of Soil Science* **38**,71-78.

Mondal, S., Halder, S. K., Yadav, A. N., & Mondal, K. C. (2020). Microbial consortium with multifunctional plant growth-promoting attributes: Future perspective in agriculture. *Advances in plant microbiome and sustainable agriculture: functional annotation and future challenges*, 219-258.

Références bibliographiques

Munees A, Mulugeta K. 2013. Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: Current perspective, *Journal of King Saud University – Science*, January Volume 26, Issue 1, Page 1–20.

N

Naznin HA, Kimura M, Miyazawa M, Hyakumachi M. 2012. Analysis of volatile organic compounds emitted by plant growth promoting fungus *phoma* sp. GS8- 3 for growth promotion effects on tobacco. *Microbe Environ*, 28: 42-49.

Neilands J.B. 1995. Siderophores structure and function of microbial iron transport compounds. *J. Biol. Chem*, 270, 26723–26726.

Neilson T.H, Sorensen J. 2003. Production of cyclic lipopeptides by *psudomonasflourescens* strains in bulk soil and in the sugar beet rhizosphere. *Applied and Environmental microbiology*, 69, 861-868.

Normanly J, Bartel B.1999. Redundancy as a way of life-IAA metabolism. *Curr. Opin. PlantBiol*, 2, 207-213.

O

Olanrewaju, O. S., & Babalola, O. O. (2019). Bacterial consortium for improved maize (*Zea mays* L.) production. *Microorganisms*, 7(11), 519.

P

Panhwar Q.A, Jusop S, Naher U.A, Othman R, Razi M.I. 2013. Application of Potential Phosphate-Solubilizing Bacteria and Organic Acids on Phosphate Solubilization from Phosphate Rock in Aerobic Rice. *Sci. World J.* 2013, 1–10.

ParmarP, and Sindhu S.S. 2013. Potassium Solubilization by Rhizosphere Bacteria: Influence of Nutritional and Environmental Conditions. *J. Microbiol. Res.* 25–31.

Pereg L, McMillan M. 2015. Scoping the potential uses of beneficial microorganisms for increasing productivity in cotton cropping systems. *Soil Biol. Biochem*, 80, 349–358.

Picard, C., Di Cello, F., Ventura, M., Fani, R., Guckert, A., 2000. Frequency and biodiversity of 2,4-diacetylphloroglucinol producing bacteria isolated from the maize rhizosphere at different stages of plant growth. *Applied and Environmental Microbiology* **66**, 948-955.

Pikovskaya. 1948. Mobilization of phosphorus in soil in connection with vital activity of some microbial species. *Mikrobiologiya*,17: 362- 370.

R

Raafat D, Sahl H.-G. 2009. Chitosan and its antimicrobial potential - a critical literature survey. *Microb. Biotechnol*, 2, 186–201.

Raaijmakers, J.M., 2009. The rhizosphere: a playground and battlefield for soilborne pathogens and beneficial microorganisms. *Plant and Soil* **321**, 341-361

Ruan S.; Q. Xue and K. Tylkowska (2002). The influence of priming on germination of rice (*Oryza sativa* L.) seeds and seedling emergence and performance in flooded soil. *Seed Sci. & Tech.*, 30: 61-67

Références bibliographiques

S

Salma Taktek, 2015. Dissolution biologique des phosphates : Interaction bactéries – mycorhizes. Thèse de doctorat. Université LAVAL québec canada.

Santoyo, G., Guzmán-Guzmán, P., Parra-Cota, F. I., Santos-Villalobos, S. D. L., Orozco-Mosqueda, M. D. C., & Glick, B. R. (2021). Plant growth stimulation by microbial consortia. *Agronomy*, 11(2), 219.

Setiawati T.C, and Mutmainnah L. 2016. Solubilization of Potassium Containing Mineral by Microorganisms From Sugarcane Rhizosphere. *Agric. Agric. Sci. Procedia*, 9, 108–117.

SHARMA, (M. L.), (1973) - Simulation of drought and its effect on germination of five Pasture species. *Agro. J.*, 65: 982-987.

Shilev S. 2013. Soil Rhizobacteria Regulating the Uptake of Nutrients and Undesirable Elements by Plants. Chappitre5 plant microbe symbiosis fundamentals and advance naveenkumararora editor

Slama, H., et chergui, M., (2019). Isolement et caractérisation des *Pseudomonas* sp stimulatrices de la croissance des plante (PGPR) à rhizosphère de *Citrullus colocynthis* dans la région de Bir El-Ater. Mémoire de Master 2 Université de Tébessa.

Somers E, Vanderleyden J, Srinivasan M. 2004. Rhizosphere bacterial signalling: a love parade beneath our feet. *Critical Reviews in Microbiology*, 30, 205-240.

Tokala R.K, Strap J.L, Jung C.M, Crawford D.L., Hamby, Salove M, Deobald LA, Bailey J.F, Morra M.J. 2002. Novel plant-microbe rhizosphere interaction involving *Streptomyces lydicus* WYEC-108 and the pea plant (*Pisum sativum*). *Applied and Environmental Microbiology*, 68, 2161-2171.

Verma, Yadav, Kazy, Saxena, Suman. 2013. Elucidating the diversity and plant growth promoting attributes of wheat (*Triticum aestivum*) associated acidotolerant bacteria from southern hills zone of India. *Natl J Life Sci*, 10 (2): 219-227 (Tableau1).

V

Verma, Yadav, Khannam, Panjiar, Kumar et al. 2015. Assessment of genetic diversity and plant growth promoting attributes of psychrotolerant bacteria allied with wheat (*Triticum aestivum*) from the northern hills zone of India. *Ann Microbiol*, 65: 1885-189.

Vessey, J.K. (2003) Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant Soil* 2003, 255, 571–586.

Voisard, C., Keel, C., Haas, D., Defago, G., 1989. Cyanide production by *Pseudomonas fluorescens* helps suppress black root rot of tobacco under gnotobiotic conditions. *EMBO Journal* 8, 351-358.

W

Wdowiak-Wróbel S, Marek-Kozaczuk M, Kalita M, Karaś M, Wójcik, M, Małek W. 2017. Diversity and plant growth promoting properties of rhizobia isolated from root nodules of *Ononis arvensis*. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 110, 1087–1103.

Weyens N, Van der Lelie D, Taghavi S, Vangronsveld J. 2009. Phytoremediation: plante endophyte partnerships take the challenge. *Current Opinion in Biotechnology*, 20, 248-254.

Références bibliographiques

Whipps J.M. 2001. Microbial interactions and biocontrol in the rhizosphere. *Journal of Experimental Botany*, 52, 487-511.

Wood, S.M., Newcomb, W., 1989. Nodule morphogenesis: the early infection of Alfalfa (*Medicago sativa*) root hairs by *Rhizobium meliloti*. *Canadian Journal of Botany* 67, 3108-3122.

X

Xia, M., Chakraborty, R., Terry, N., Singh, R. P., & Fu, D. (2020). Promotion of saltgrass growth in a saline petroleum hydrocarbons contaminated soil using a plant growth promoting bacterial consortium. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 146, 104808.

Y

Yadav, Sachan, Verma, Kaushik, Saxena. 2016. Cold active hydrolytic enzymes production by psychrotrophic Bacilli isolated from three sub-glacial lakes of NW Indian Himalayas. *J Basic Microbiol*, 56(3): 294-307.

Yadav, Sachan, Verma, Saxena. 2016. Bioprospecting of plant growth promoting psychrotrophic Bacilli from cold desert of north western Indian Himalayas. *Indian J ExpBiol*, 54(2): 142-150.

Yadav, Verma, Kumar M, Pal KK, Dey et al.2015. Diversity and phylogenetic profiling of niche-specific *Bacilli* from extreme environments of India. *Ann Microbiol*, 65(2): 611-629.

Yadav, Verma, Sachan, Kaushik, Saxena. 2016. Microbiome of Indian Himalayan regions: Molecular diversity, phylogenetic profiling and biotechnological applications. In: *Proceeding of 86th Annual Session of NASI & Symposium on “Science, Technology and Entrepreneurship for Human Welfare in The Himalayan Region”*, 58 p.

ANNEXE

PARAMETRES DE GERMINATION

GERMINATION

ANOVA à un facteur contrôlé : EG en fonction de Isolats

Analyse de la variance

Source	DL	SomCar		Valeur F	Valeur de p
		ajust	CM ajust		
Isolats	30	12880	429,3	1,36	0,151
Erreur	62	19533	315,1		
Total	92	32413			

ANOVA à un facteur contrôlé : FGP en fonction de Isolats

Analyse de la variance

Source	DL	SomCar		Valeur F	Valeur de p
		ajust	CM ajust		
Isolats	30	37961	1265	1,08	0,393
Erreur	62	72867	1175		
Total	92	110828			

ANOVA à un facteur contrôlé : SGI en fonction de Isolats

Analyse de la variance

Source	DL	SomCar		Valeur F	Valeur de p
		ajust	CM ajust		
Isolats	30	52,56	1,752	1,07	0,402
Erreur	62	101,61	1,639		
Total	92	154,17			

ANOVA à un facteur contrôlé : CG en fonction de Isolats

Source	DL	SomCar		Valeur F	Valeur de p
		ajust	CM ajust		
Isolats	29	133,47	4,6023	6,22	0,000***
Erreur	60	44,37	0,7396		
Total	89	177,84			

Comparaisons multiples de Dunnett avec un contrôle

Informations de groupement avec la méthode de Dunnett et un niveau de confiance de 95 %

<u>Isolats</u>	<u>N</u>	<u>Moyenne</u>	<u>Groupement</u>
0 (contrôle)	3	15,588	A
13	3	18,97	
345	3	15,63	A
25	3	15,63	A
1234	3	15,500	A
23	3	15,500	A
12	3	15,28	A
145	3	15,251	A
134	3	14,955	A
123	3	14,955	A
45	3	14,81	A
234	3	14,590	A
1	3	14,58	A
3451	3	14,384	A
35	3	14,29	A
4	3	14,29	A
2345	3	14,2324	A
14	3	14,226	A
512	3	14,205	A
451	3	14,169	A
1235	3	13,961	A
245	3	13,917	A
2	3	13,89	A
4512	3	13,690	A
3	3	13,558	A
15	3	13,492	A
5	3	13,435	A
12345	3	12,50	
124	3	12,50	
24	3	12,50	

Les moyennes non étiquetées avec la lettre A sont significativement différentes de la moyenne du niveau de contrôle.

ANOVA à un facteur contrôlé : GI en fonction de Isolats

Analyse de la variance

Source	DL	SomCar		Valeur	
		ajust	CM ajust	Valeur F	de p
Isolats	30	196540	6551,3	8,58	0,000
Erreur	62	47328	763,4		
Total	92	243867			

Comparaisons multiples de Dunnett avec un contrôle

Informations de groupement avec la méthode de Dunnett et un niveau de confiance de 95 %

Isolats	N	Moyenne	Groupement
0 (contrôle)	3	100,0	A
35	3	172,73	
145	3	163,6	A
123	3	163,6	A
12	3	163,6	A
234	3	154,5	A
45	3	145,5	A
4512	3	145,5	A
2345	3	145,5	A
3451	3	136,36	A
451	3	127,3	A
245	3	118,2	A
134	3	118,18	A
1234	3	100,0	A
512	3	90,9	A
14	3	90,9	A
23	3	81,8	A
5	3	78,8	A
345	3	72,73	A
124	3	72,73	A
25	3	72,73	A
15	3	72,7	A
1	3	72,73	A
3	3	54,5	A
1235	3	54,5	A
13	3	54,55	A
2	3	54,55	A
12345	3	45,45	A
4	3	36,4	A
24	3	18,18	
34	3	0,000000	

Les moyennes non étiquetées avec la lettre A sont significativement différentes de la moyenne du niveau de contrôle.

Paramètres Agronomiques

FEUILLE DE TRAVAIL 3

Modèle linéaire général : HPA en fonction de Traitements; Temps

Analyse de la variance

Source	DL	SomCar		Valeur F	Valeur de p
		ajust	CM ajust		
Traitements	30	10172	339,1	1,43	0,081
Temps	2	4065	2032,4	8,55	0,000
Traitements*Temps	60	12511	208,5	0,88	0,718
Erreur	186	44193	237,6		
Total	278	70941			

FEUILLE DE TRAVAIL 3

Comparaisons pour HPA

Comparaisons deux à deux de Tukey : Temps

Informations de groupement avec la méthode de Tukey et un niveau de confiance de 95 %

Temps	N	Moyenne	Groupement
45	93	21,5871	A
30	93	16,0634	B
15	93	12,2925	B

Les moyennes ne partageant aucune lettre sont significativement différentes.

FEUILLE DE TRAVAIL 3

Modèle linéaire général : LDR en fonction de Traitements; Temps

Analyse de la variance

Source	DL	SomCar		Valeur F	Valeur de p
		ajust	CM ajust		
Traitements	30	587,9	19,60	6,44	0,000
Temps	2	2027,9	1013,93	333,24	0,000
Traitements*Temps	60	170,8	2,85	0,94	0,609
Erreur	186	565,9	3,04		
Total	278	3352,5			
	261	9,20	12,70	-3,50	-2,46 R

FEUILLE DE TRAVAIL 3

Comparaisons pour LDR

Comparaisons multiples de Dunnett avec un contrôle : Traitements

Informations de groupement avec la méthode de Dunnett et un niveau de confiance de 95 %

Traitements	N	Moyenne	Groupement
55 (Contrôle)	9	8,7000	A

ANNEXE

234	9	12,0667
12	9	12,0667
512	9	10,8667 A
145	9	10,6111 A
2	9	10,5111 A
134	9	10,3222 A
3451	9	9,9444 A
124	9	9,8000 A
13	9	9,7333 A
25	9	9,7333 A
451	9	9,6444 A
1235	9	9,5222 A
1234	9	9,3556 A
345	9	9,1667 A
45	9	9,1333 A
123	9	8,9622 A
35	9	8,9111 A
2345	9	8,9000 A
23	9	8,8333 A
34	9	8,6111 A
4512	9	8,5222 A
24	9	8,4778 A
3	9	8,1778 A
14	9	8,1111 A
245	9	8,0778 A
4	9	7,3444 A
12345	9	7,2556 A
5	9	6,7778 A
15	9	6,7000 A
1	9	5,2778

Les moyennes non étiquetées avec la lettre A sont significativement différentes de la moyenne du niveau de contrôle.

FEUILLE DE TRAVAIL 3

Comparaisons pour LDR

Comparaisons deux à deux de Tukey : Temps

Informations de groupement avec la méthode de Tukey et un niveau de confiance de 95 %

<u>Temps</u>	<u>N</u>	<u>Moyenne</u>	<u>Groupement</u>
45	93	12,3414 A	
30	93	9,0291	B
15	93	5,7376	C

Les moyennes ne partageant aucune lettre sont significativement différentes.

FEUILLE DE TRAVAIL 3

Modèle linéaire général : Poids Frais en fonction de Traitements; Temps

Analyse de la variance

Source	SomCar			Valeur F	Valeur de p
	DL	ajust	CM ajust		
Traitements	30	1,968	0,06560	2,37	0,000
Temps	2	4,672	2,33588	84,32	0,000
Traitements*Temps	60	2,150	0,03583	1,29	0,100
Erreur	186	5,152	0,02770		
Total	278	13,942			

FEUILLE DE TRAVAIL 3

Comparaisons pour Poids Frais

Comparaisons multiples de Dunnett avec un contrôle : Traitements

Informations de groupement avec la méthode de Dunnett et un niveau de confiance de 95 %

Traitements	N	Moyenne	Groupement
55 (Contrôle)	9	0,238078	A
45	9	0,541000	
12	9	0,537111	
13	9	0,510222	
134	9	0,465444	A
34	9	0,452778	A
3	9	0,433333	A
123	9	0,429556	A
345	9	0,428667	A
35	9	0,424778	A
1	9	0,420556	A
1235	9	0,400889	A
25	9	0,399111	A
4	9	0,397111	A
245	9	0,395111	A
23	9	0,378556	A
5	9	0,377556	A
2	9	0,368111	A
512	9	0,365667	A
124	9	0,362667	A
4512	9	0,359111	A
234	9	0,357333	A
14	9	0,325000	A
12345	9	0,311333	A
145	9	0,294111	A
15	9	0,289222	A
3451	9	0,284667	A
24	9	0,277444	A
1234	9	0,258000	A
451	9	0,242444	A
2345	9	0,208778	A

Les moyennes non étiquetées avec la lettre A sont significativement différentes de la moyenne du niveau de contrôle.

FEUILLE DE TRAVAIL 3

Comparaisons pour Poids Frais

Comparaisons deux à deux de Tukey : Temps

Informations de groupement avec la méthode de Tukey et un niveau de confiance de 95 %

Temps	N	Moyenne	Groupement
45	93	0,516602	A
30	93	0,396978	B
15	93	0,202588	C

Les moyennes ne partageant aucune lettre sont significativement différentes.

FEUILLE DE TRAVAIL 3

Modèle linéaire général : Poids sec en fonction de Traitements; Temps

Analyse de la variance

Source	DL	SomCar		Valeur F	Valeur de p
		ajust	CM ajust		
Traitements	30	0,4412	0,014708	1,81	0,010
Temps	2	0,8579	0,428973	52,79	0,000
Traitements*Temps	60	0,7878	0,013130	1,62	0,008
Erreur	186	1,5115	0,008126		
Total	278	3,5985			

Comparaisons pour Poids sec

Comparaisons deux à deux de Tukey : Temps

Informations de groupement avec la méthode de Tukey et un niveau de confiance de 95 %

Temps	N	Moyenne	Groupement
45	93	0,171355	A
30	93	0,063323	B
15	93	0,046032	B

Les moyennes ne partageant aucune lettre sont significativement différentes.

FEUILLE DE TRAVAIL 3

Comparaisons pour Poids sec

Comparaisons multiples de Dunnnett avec un contrôle : Traitements*Temps

Informations de groupement avec la méthode de Dunnnett et un niveau de confiance de 95 %

Traitements*Temps	N	Moyenne	Groupement
55 15 (Contrôle)	3	0,042000	A
12345 15j	3	0,467333	
55 45j	3	0,398667	
2 45j	3	0,366000	

ANNEXE

25 45j	3	0,336667
5 45j	3	0,286667
3 45	3	0,266333 A
12 45	3	0,235667 A
145 45	3	0,229000 A
13 45	3	0,200000 A
45 45	3	0,200000 A
34 45	3	0,199667 A
24 45	3	0,173333 A
234 45	3	0,166667 A
3451 45	3	0,164333 A
14 45	3	0,163000 A
35 45	3	0,159333 A
512 45	3	0,158333 A
123 45	3	0,154333 A
124 45	3	0,133333 A
245 45	3	0,129333 A
15 45	3	0,129000 A
23 45	3	0,126667 A
1235 45	3	0,123333 A
12345 45	3	0,112000 A
1 45	3	0,097333 A
451 45	3	0,096333 A
134 45	3	0,091667 A
1234 45	3	0,089333 A
2345 45	3	0,087000 A
345 45	3	0,086000 A
25 30	3	0,083000 A
5 30	3	0,082333 A
2 30	3	0,080000 A
4512 45	3	0,079667 A
34 30	3	0,078667 A
12 30	3	0,077333 A
13 30	3	0,076333 A
234 30	3	0,074333 A
12345 30	3	0,074333 A
1 30	3	0,074000 A
4 45	3	0,073000 A
15 30	3	0,072667 A
55 30	3	0,072667 A
145 30	3	0,071333 A
14 30	3	0,071000 A
124 30	3	0,068000 A
24 30	3	0,067333 A
45 30	3	0,066333 A
3 30	3	0,065333 A
123 30	3	0,062667 A
35 30	3	0,060333 A
134 30	3	0,057667 A
245 30	3	0,056000 A
23 30	3	0,055333 A
1235 30	3	0,052667 A
512 30	3	0,052667 A
3451 30	3	0,052333 A
451 30	3	0,050667 A

ANNEXE

345 30	3	0,045667 A
1234 30	3	0,044667 A
2345 30	3	0,044000 A
34 15	3	0,044000 A
1 15	3	0,043000 A
2 15	3	0,040333 A
5 15	3	0,040333 A
14 15	3	0,039000 A
4512 30	3	0,038667 A
13 15	3	0,037667 A
15 15	3	0,037667 A
23 15	3	0,036667 A
234 15	3	0,036000 A
145 15	3	0,035000 A
4 30	3	0,034667 A
12 15	3	0,034000 A
25 15	3	0,033667 A
24 15	3	0,033000 A
124 15	3	0,033000 A
45 15	3	0,032333 A
3 15	3	0,032333 A
35 15	3	0,032000 A
123 15	3	0,031000 A
134 15	3	0,027667 A
245 15	3	0,027333 A
3451 15	3	0,027000 A
1235 15	3	0,026667 A
512 15	3	0,025333 A
345 15	3	0,025333 A
4 15	3	0,025000 A
451 15	3	0,023667 A
2345 15	3	0,021667 A
1234 15	3	0,020667 A
4512 15	3	0,016333 A

Les moyennes non étiquetées avec la lettre A sont significativement différentes de la moyenne du niveau de contrôle.

FEUILLE DE TRAVAIL 3

Modèle linéaire général : Nbr Feuilles en fonction de Traitements; Temps

Analyse de la variance

Source	SomCar			Valeur F	Valeur de p
	DL	ajust	CM ajust		
Traitements	30	38,93	1,2977	2,46	0,000
Temps	2	21,99	10,9928	20,86	0,000
Traitements*Temps	60	10,01	0,1669	0,32	1,000
Erreur	186	98,00	0,5269		
Total	278	168,93			

FEUILLE DE TRAVAIL 3

Comparaisons pour Nbr Feuilles

Comparaisons deux à deux de Tukey : Temps

Informations de groupement avec la méthode de Tukey et un niveau de confiance de 95 %

Temps	N	Moyenne	Groupement
45	93	1,49462	A
30	93	1,25806	A
15	93	0,81720	B

Les moyennes ne partageant aucune lettre sont significativement différentes.

FEUILLE DE TRAVAIL 3

Comparaisons pour Nbr Feuilles

Comparaisons multiples de Dunnett avec un contrôle : Traitements

Informations de groupement avec la méthode de Dunnett et un niveau de confiance de 95 %

Traitements	N	Moyenne	Groupement
55 (Contrôle)	9	1,44444	A
34	9	2,00000	
3	9	1,88889	
25	9	1,77778	A
45	9	1,66667	A
4512	9	1,66667	A
12345	9	1,55556	A
245	9	1,44444	A
345	9	1,44444	A
4	9	1,33333	A
124	9	1,33333	A
2	9	1,22222	A
12	9	1,22222	A
13	9	1,22222	A
134	9	1,22222	A
234	9	1,22222	A
1235	9	1,22222	A
1	9	1,11111	A
5	9	1,11111	A
35	9	1,11111	A
3451	9	1,00000	A
512	9	1,00000	A
23	9	0,88889	A
145	9	0,88889	A
15	9	0,77778	A
1234	9	0,77778	A
24	9	0,77778	A
14	9	0,66667	A
123	9	0,66667	
451	9	0,66667	
2345	9	0,55556	

ANNEXE

Les moyennes non étiquetées avec la lettre A sont significativement différentes de la moyenne du niveau de contrôle.

Modèle linéaire général : Surf Folliaire en fonction de Traitements; Temps

Analyse de la variance

Source	SomCar			Valeur F	Valeur de p
	DL	ajust	CM ajust		
Traitements	30	1459,8	48,658	6,95	0,000
Temps	2	1854,4	927,200	132,44	0,000
Traitements*Temps	60	524,7	8,744	1,25	0,133
Erreur	186	1302,2	7,001		
Total	278	5141,0			

FEUILLE DE TRAVAIL 3

Comparaisons pour Surf Folliaire

Comparaisons multiples de Dunnett avec un contrôle : Traitements

Informations de groupement avec la méthode de Dunnett et un niveau de confiance de 95 %

Traitements	N	Moyenne	Groupement
55 (Contrôle)	9	2,10860	A
1235	9	8,99167	
45	9	8,94400	
34	9	8,74727	
134	9	7,17167	
25	9	6,62307	
12	9	5,50073	A
234	9	5,19445	A
35	9	4,97380	A
512	9	4,34547	A
3451	9	4,05773	A
345	9	3,79600	A
124	9	3,79513	A
3	9	3,55420	A
24	9	3,30373	A
23	9	3,03420	A
145	9	2,96053	A
245	9	2,57660	A
4	9	2,50640	A
15	9	2,43880	A
123	9	2,29407	A
4512	9	2,18920	A
5	9	1,92313	A
13	9	1,83733	A
2345	9	1,83560	A
12345	9	1,64060	A
451	9	1,62500	A
2	9	1,56433	A
1234	9	1,48547	A
14	9	1,43780	A
1	9	0,95333	A

ANNEXE

Les moyennes non étiquetées avec la lettre A sont significativement différentes de la moyenne du niveau de contrôle.

Comparaisons pour Surf Folliaire

Comparaisons deux à deux de Tukey : Temps

Informations de groupement avec la méthode de Tukey et un niveau de confiance de 95 %

<u>Temps</u>	<u>N</u>	<u>Moyenne</u>	<u>Groupement</u>
45	93	7,03196	A
30	93	3,16915	B
15	93	0,77405	C

Les moyennes ne partageant aucune lettre sont significativement différentes.