



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



Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par Ben Ali Soumia

DOMAINE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE (SNV)

FILIERE DES SCIENCES AGRONOMIQUES

OPTION : PROTECTION DES VEGETAUX

Thème

**Effets bénéfiques des *Pseudomans* spp. fluorescents sur
la stimulation de la germination de l'orge (*Hordeum
vulgare* L.) sous deux type de stress abiotiques ; salin et
calcaire.**

Jury de soutenance :

Moulay Adel
Marfoua Meriem
Ameur Djamila
Ranane Zohra

Président
Examinateur
Encadreur
Co-Encadreur

Promotion : Novembre – 2020

Remerciement

*Avant tout, nous remercions DIEU tout puissant,
De nous avoir accordé la force, le courage, la
Volonté et la patience pour terminer ce
Travail.*

*Nous remercions vivement notre encadreur : Melle
DJAMILA AMEUR pour son Aide, sa compréhension et ses
Conseils.*

*Nos sincères remerciements vont également aux
Enseignants de spécialité agronomie protection des végétaux
Et tous les Enseignants à la Faculté des sciences de la Nature et
La Vie, Université AMAR THLIDJI LAGHOUAT.*

*Nous remercions également toutes les
Personnes qui Nous ont aidés, de pré ou de
Loin pour la réalisation de ce travail en
Particulier.*

*Nous tenons à remercier aussi les
Membres du jury : Monsieur adel moulay et madame
marfouaa meriem*

*Pour l'honneur qu'ils nous ont fait en
Acceptant de juger notre travail.*

Dédicace

Je dédie mon travail à

Mon père et mon mère

Mes soeur rihab et chorouk

Et mon frair mostapha et ibrahim

Mon marie amine

Et toute ma famille ben ali et mechraoui

Mes profs tout ma promotion

Et mes camarades

halima garbousse, ahlam chababe, kenza ben amar

khadidja chelbak.

soumia

Nom : Benali

Prénom : Soumia

Encadreur : Ameer djamila

Résumé

Nous visons par ce travail la recherche de nouvelle souche efficaces de PGPR (*plant growth promoting rhizobacteria*), pour les utiliser en bio stimulation, qui peut être considéré comme une éventuelle alternative plus écologique et durable que les fertilisants chimiques.

Nous avons utilisé deux souches de *Pseudomonas* spp. fluorescents, originaires de la rhizosphère des plantes spontanées *Astragalus armatus* Willd. et *Tamarix gallica* L. de région aride et semi-aride,

Les deux souches (T₃₂ et ASO₂) choisis pour étudier leur effet sur la bio stimulation de la germination de l'orge sous stress salin et calcaire, ont révélé une augmentation du taux de germination des graines presque 50%, que le témoin non bactérisé le taux le plus élevé est enregistré chez les souches T₃₂ sous stress calcaire et ASO₂ sous stress salin. Ainsi qu'une amélioration très hautement significative des paramètre morphologiques (la longueur des racicules et la longueur des feuilles), ce qui a été confirmé par l'indice de vigueur.

Mots clé : PGPR, *Pseudomonas* spp. fluorescents, stress abiotique, stress salin et stress

ملخص

نحن نهدف في هذا العمل إلى إيجاد سلالات فعالة جديدة من PGPR (البكتيريا الجذرية التي تعزز نمو النبات)، لاستخدامها في التحفيز الحيوي، والذي يمكن اعتباره بديلاً محتملاً أكثر بيئية واستدامة من الأسمدة الكيماوية. استخدمنا سلالتين من *Pseudomonas spp.* الفلورية، التي نشأت من جذر النباتات العفوية *Astragalus Tamarix gallica L.* و *armatus Willd.* في المناطق القاحلة وشبه القاحلة، تم اختيار السلالتين (T₃₂ وASO₂) لدراسة تأثيرهما على التحفيز الحيوي لإنبات الشعير تحت الضغط الملحي والكلسي، وكشفت عن زيادة في معدل إنبات البذور بنسبة تقارب 7.50٪، حيث أن المواد غير البكتيرية تتحكم في تم تسجيل أعلى معدل في السلالات T₃₂ تحت ضغط الكالسيوم وASO₂ تحت ضغط الملح. بالإضافة إلى تحسن كبير للغاية في المعلمات المورفولوجية (طول الجذور وطول الأوراق)، وهو ما أكدته مؤشر القوة.

الكلمات الرئيسية: PGPR، *Pseudomonas spp.* الفلورسنت، الإجهاد الأحيائي، إجهاد الملح وإجهاد الكالسيوم.

Abstract

We are aiming for this work to find new effective strains of PGPR (plant growth promoting rhizobacteria), to use them in bio stimulation, which can be considered as a possible more ecological and sustainable alternative than chemical fertilizers.

We used two strains of *Pseudomonas* spp. fluorescent, originating from the rhizosphere of spontaneous plants *Astragalus armatus* Willd. and *Tamarix gallica* L. in arid and semi-arid regions,

The two strains (T₃₂ and ASO₂) chosen to study their effect on the bio-stimulation of barley germination under saline and calcareous stress, revealed an increase in the seed germination rate almost 50%, that the non-bacterial control the The highest rate is recorded in strains T₃₂ under calcium stress and ASO₂ under salt stress. as well as a very highly significant improvement in morphological parameters (the length of the radicles and the length of the leaves), which was confirmed by the vigor index.

Keywords: PGPR, *Pseudomonas* spp. fluorescent, abiotic stress, salt stress and

Table des Matières

Remerciements	
Dédicace	
Résumé	
Liste des tableau	I
Liste des figures	II
Liste des abréviations	III
Introduction	01

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I. Généralité sur la rhizosphère	04
I.1. Activité microbienne rhizosphérique	04
I.2. Généralités sur les Rhizobactéries promotrices de la croissance des plantes PGPR	05
I.3. Définition des PGPR	05
I.4. Forme des PGPR	06
I.5. La diversité taxonomique des PGPR	06
I.6. Généralité sur <i>Pseudomonas</i> spp. fluorescent	06
II. Effet bénéfique de <i>Pseudomonase</i> spp fluorescents	07
II.1. Effet directe des PGPR sur la plante	08
II.2. Acquisition des ressources	09
II.2.1. Fixation d'azote	09
II.2.2. Solubilisation du phosphate	09
II.2.3. Solubilisation du potassium	10
II.2.4. Production de siderophore	10
II.3. Production phytohormone	11
II.3.1. Acide Indole Acétique (AIA)	11
II.3.2. Aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC) désaminas	11
II.3.3. Production des cytokines	12
II.3.4. Les gibbérellines	12
III. Effet indirect des PGPR sur les plantes	13

III.1. Production d'antibiotiques par les <i>Pseudomona</i> spp.fluorescents	13
III.2. Production d'HCN	13
III.3. Enzyme extracellulaire hydrolytique	14
III.4. La compétition trophique	14
III.5. Induction systémique de la résistance des plantes	14

Chapitre II : Matériel et méthodes

II. Matériel et méthodes	16
II. 1. Matériel biologique	16
II.1. 1. Les souches bactériennes	16
II.1.2. Matériel végétale	16
II.2. Désinfections des graines de l'orge	16
II.3. L'inoculum bactérien	17
II.4. Bactérisation des graines de l'orge	18
II-5 Dispositif expérimental	19
II. 6. Les paramètres étudiés	20
II.7. Analyse statistique	21

Chapitre III : Résultats et discussion

III. Résultats et discussion	22
III.1 Résultats	22
III.1.1 Les résultats relatifs à l'essai de l'effet de calcaire et de la bactérisation	22
III.1.1.1. Sur le taux de germination	22
III.1.1.2. Sur la longueur des racines	24
III.1.1.3. Sur la longueur des feuilles	26
III.1.1.4. Sur l'indice de vigueur	29
III.1.2. Les résultats relatifs à l'essai de l'effet de salinité et de la bactérisation.	31
III.1.2. 1. sur le taux de germination	31
III.1.2. 2. sur la longueur des racines	34
III.1.2. 3. sur la longueur des feuilles	37
III.1.2. 4. Sur de l'indice de vigueur	39

III.2. Discussion	42
Conclusion	45
Référence bibliographique	46
Annexe	54

Liste des tableaux

Tableau 1 : Originale des souches bactériennes

16

Liste des figures

Figure 1. Illustration schématique de la rhizosphère	05
Figure 2 . Interactions entre plantes et bactéries coopératives dans la rhizosphère	08
Figure 3. d'infection des semences de l'orge	17
Figure 4. l'inoculum bactérienne	18
Figure 5. Bactérisations des graines de l'orge	19
Figure 6. Effet de Facteur bactérie sur le taux de germination de l'orge	22
Figure 7. Effet de facteur concentration de calcaire sur de taux de germination de l'orge.	23
Figure 8. Effet de l'interaction du facteur bactérisation et du facteur concentration de calcaire sur le taux de germination de l'orge	24
Figure 9. Effets de facteur bactérisation sur la longueur des racicules	25
Figure 10. Effets de facteur de concentration sur la longueur des racicules	25
Figure 11. Effets de l'interaction entre le facteur bactérisation et facteur concentration sur longueur des racicules	26
Figure 12. Effet de facteur bactérisation sur la longueur des feuilles	27
Figure 13. Effet de facteur concentration sur la longueur des feuilles	28
Figure 14. Effet de l'interaction entre le facteur bactérisation et le facteur concentration sur la longueur des feuilles	29
Figure 15. Effet de facteur bactérisation sur l'indice de vigueur	30
Figure 16. Effet de facteur de concentration du calcaire sur l'indice de vigueur.	30
Figure 17. Effet de facteur bactérisation et facteur concentration du calcaire sur l'indice de vigueur	31
Figure 18. Effet de facteur bactérisation sur le taux de germination du l'orge	32
Figure 19. Effet de facteur concentration Nacl sur le taux de germination de l'orge	33
Figure 20. Effet de l'interaction entre le facteur bactérisation et le facteur concentration sur le taux de germination de l'orge	34
Figure 21. Effets de facteur bactérie sur la longueur des racicules	35
Figure 22. Effets de facteur de concentration du Nacl sur la longueur des racicules	36
Figure 23. Effets de l'interaction du facteur bactérisation et facteur de concentration de Nacl sur la longueur des racicules	37

Figure 24. Effets de Facteur bactérisation sur la longueur des feuilles	38
Figure 25. Effets de Facteur concentration sur la longueur des feuilles	38
Figure 26. Effets de l'interaction de facteur bactérisation et concentration de Nacl sur la longueur des feuilles	39
Figure 27. Effet de facteur bactérisation sur l'indice de vigueur	40
Figure 28. Effet de facteur concentration de Nacl sur l'indice de vigueur	40
Figure 29. Effet de l'interaction du facteur bactérisation et le facteur concentration Nacl sur l'indice de vigueur	41

Liste des abréviations

AIA :	Acide indole acétique.
°C :	Degré Celsius
h :	Heure
HCN :	Acide cyanidrique
ml :	Millilitre
P.:	<i>Pseudomonas</i>
PGPR:	<i>Plant Growth Promoting Rhizobacteria</i>
% :	pourcentage
CHAO :	<i>P. fluorescens</i> CHAO.
DAPG :	2,4-diacetylphloroglucinol.
PCA :	phénazine-1-carboxylate.
PLT:	Pyolutéorine.
PRN:	pyrrolnitrine.
U.F.C:	unity forming colony.
g :	gramme
N₂ :	Azote
HPO₄ :	hydrogène phosphate.
H₂PO₄ :	dihydrogène phosphate
ACC :	1-amino-cyclopropane-1-carboxilate.
Fe³⁺ :	d'oxydes de fer.
NaCl :	Le chlorure de sodium

Introduction

Introduction

Le sol est considéré comme un immense réservoir d'espèces microbiennes, qui par leurs diversités et leurs activités représentent sans doute le maillon central de l'écosystème du sol. En effet les interactions qui existent entre les rhizobactéries et les plantes sont diverses fréquentes et complexes et elles ne sont pas un événement rare ou accidentel que ce soit d'une manière saprophyte, symbiotique ou parasitaire. Ces interactions multiples créent des espaces rhizosphériques conduisant à la structuration de niches écologiques telluriques particulières (Bais *et al.*, 2004).

La rhizosphère des plantes est la zone qui est immédiatement proche de la surface des racines et qui est affectée par les exsudats des racines et la plus prédominante pour les microbes (Kennedy, 1999). L'interaction est due aux exsudats sécrétés par les racines. Ces derniers contiennent des polysaccharides, des lipides et des acides aminés, directement impliqués dans l'interaction microbienne avec la plante (Kumar *et al.*, 2015).

La colonisation racinaire rhizosphérique est conditionnée par la nature des microorganismes et le type de plantes. En effet la composition des rhizodépôts influence la qualité et la quantité des espèces microbiennes évoluant dans ces espaces (Bais *et al.*, 2004). Parmi les bactéries colonisatrices de la rhizosphère certaines améliorent la croissance des plantes. Ces bactéries sont groupées sous le nom de PGPR « *plant growth promoting rhizobacteria* » incluant le groupe des *Pseudomonas* spp. fluorescents non symbiotique (Kloepper et Schroth, 1978). Elles sont capables de coloniser efficacement les systèmes racinaires et influencent de manière bénéfique la plante en stimulant sa croissance et/ou la protégeant contre des infections causées par des agents phytopathogènes (Kloepper et Schroth, 1978). L'interaction plantes - PGPR constitue probablement un modèle original différent et complémentaire des modèles d'interaction plantes - microorganismes les plus étudiés tels que le parasitisme et la symbiose (Gonzalez *et al.*, 2000).

Les *Pseudomonas* spp. fluorescents, considérées comme des PGPRs non symbiotiques, ont été largement étudiées et expérimentées, surtout par rapport à leur capacité de colonisation racinaire, et à y maintenir une forte densité de population est remarquable (Haas et Keel, 2003). Il a été rapporté des effets de phytostimulation résultant de

l'amélioration des prélèvements nutritionnels par la production de sidérophores (Glick, 2014 ; Kumar *et al.*, 2016). Ainsi que par la solubilisation des phosphates et la production (Hussein et Joo, 2015) ou par la production de composés activateurs de la phytostimulation et de la croissance similaire aux phytohormones (Ahmad *et al.*, 2013).

Les effets bénéfiques peuvent être le résultat d'un biocontrôle des agents phytopathogènes telluriques, par leur compétition trophique et par le phénomène d'antibiose. En plus des actions du biocontrôle, considérées comme spécifiques à des catégories de pathogènes ciblées, ces rhizobactéries peuvent induire des résistances systémiques générales, participant activement dans le système de défense chez les plantes (Steenhoudt *et al.*, 2000).

L'orge (*Hordeum vulgare* L.) est une des plus importantes cultures céréalières à l'échelle mondiale sa production étant estimée à 137 MT. Elle représente 15% de la consommation mondiale de céréales devancée uniquement par le blé le riz et le maïs. Comme pour toutes les céréales cultivées de nombreuses contraintes (insectes, champignons, virus, stress hydrique, stress salin, etc.) connues peuvent limiter la production. Parmi celles-ci le stress représente une contrainte particulièrement importante pour les producteurs. Un moyen de lutte efficace et durable contre cette contrainte serait la création de cultivars offrant une plus grande résistance à la salinité et la sécheresse. Malheureusement les génotypes d'orge qui offrent le plus de résistance sont très peu agronomiques et cette résistance repose sur plusieurs gènes (Mesfin *et al.*, 2003). Cependant la création de variétés tolérantes ou résistantes dotées de bonnes caractéristiques agronomiques peut nécessiter plusieurs cycles de sélection chacun débutant avec un croisement et se terminant avec la sélection des descendants les plus performants. Ce processus exige de nombreuses années d'efforts car, avant de pouvoir sélectionner les descendants les plus performants il faut assurer la fixation du bagage génétique des progénitures au cours de plusieurs autofécondations successives (Bonjean, 1995).

Plusieurs facteurs environnementaux sont impliqués dans la diminution du rendement final d'un produit agricole ou dans l'altération de sa qualité. La sécheresse, le pH, la salinité, le déséquilibre des nutriments (toxicité et déficience minérale) et les températures extrêmes constituent souvent les principales contraintes environnementales affectant la production agricole (Ashraf et Foolad, 2007). Le stress abiotique est donc considéré comme

le principal responsable des pertes associées aux cultures la sécheresse et la salinité sont responsables de 17 et 20% de pertes respectivement alors que la température élevée ou basse est responsable de 40 et 15% de pertes respectivement, 8% de pertes sont liées à d'autres facteurs (Athar et Ashraf, 2009). Avec l'augmentation de la population humaine et ses besoins nutritionnels l'utilisation de plus en plus importante de l'irrigation qui a considérablement augmenté. Cette dernière a accentué la salinisation du sol provoquant ainsi une diminution importante des rendements agricoles (Poustini et Siosemardeh, 2004).

L'Algérie fait partie du groupe des pays méditerranéens où la sécheresse, observée depuis longtemps, a conduit manifestement au processus de salinisation des sols sur 3,2 million d'hectares de terres (Belkhouja et Bidai, 2004). Cette salinisation est plus marquée dans les régions steppiques du fait des températures élevées durant presque toute l'année, du manque d'exutoire et de l'absence de drainage efficace. Elle provient aussi de l'irrigation le plus souvent mal contrôlée (Anonyme, 2008). L'altération de la biodiversité la dégradation des environnements et la diminution de la disponibilité des nutriments obligent à exploiter les ressources naturelles et à trouver des outils performants pour diminuer le risque dû aux facteurs environnementaux (Ashraf *et al*, 2012).

Notre objectif est d'apporter un plus dans la recherche d'une solution aux problèmes de stress abiotique rencontrer dans nos régions, surtout au niveaux du sol où le taux de sel et de calcaire est élevé, en exploitant des bactéries indigènes comme une alternative écologique et économique par rapport à la sélection traditionnelle ou la création variétale (OGM). La stratégie d'étude de ce travail consiste à mettre en évidence *in vitro* l'effet de certaines souches de *Pseudomonas* ssp. fluorescentes isolées de la rhizosphère de certaines plantes spontanées des zones arides et semi arides. Nous avons réalisé un essai préliminaire pour étudier l'effet bénéfique de deux souches sur la biostimulation de la germination des grains de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) sous stress salin et calcaire, touchant ainsi le premier maillon dans le système de production agricole.

Synthèse
bibliographique

I. Généralité sur la rhizosphère

La rhizosphère est la région du sol située sous les racines des plantes et soumise à leur influence directe. C'est un lieu d'intenses échanges entre le végétal et le substrat minéral. Qui peut être affecté par le tassement du sol, un ennoiement durable, sa salinisation, son eutrophisation ou la pollution ou encore par des phénomènes d'aridification. Aussi elle est la région d'activité microbienne intense (Anoua *et al.*, 1997).

I.1. Activité microbienne rhizosphérique

Le sol est un milieu vivant, siège de multiples transformations, son bon fonctionnement fait intervenir plusieurs paramètres d'ordre physiques, chimiques et biologiques qui agissent en interaction pour l'établissement d'un réseau trophique (Chaussod, 1996). La diversité et la complexité des populations d'organismes vivants présents dans le milieu tellurique fait que chaque sol agricole, forêt, prairie, sol nu ou pâturage possède son propre réseau trophique avec un ensemble particulier d'organismes du sol tels que les vers de terre, les insectes et de multiples autres invertébrés, nématodes, protozoaires, champignons, algues, et bactéries (Cleyet-Marel et Hinsinger, 2000). De nombreux micro-organismes du sol sont des hétérotrophes, pour le carbone et l'azote et toute une fraction de la microflore est stimulée au voisinage des racines des plantes qui représentent un composant essentiel des écosystèmes telluriques et qui occupent 50 à 70% de la phytomasse (Jackson *et al.*, 1996). Même s'il est admis que les microorganismes telluriques sont une partie déterminante dans la structuration des sols leurs contributions sont capitales dans le bon fonctionnement du réseau trophique du sol. L'action microbienne recouvre les processus de minéralisation et de transformation de la matière organique et dans la disponibilité de divers éléments minéraux nutritifs. Leurs implications sont principalement au niveau de la fourniture d'azote minéral mais également de soufre, phosphore, magnésium, calcium etc... (Chaussod, 2002). La décomposition de la matière organique est effectuée principalement par les bactéries et les champignons lesquels accumulent et immobilisent les nutriments provenant de la matière organique réduisant du même coup le lessivage à l'exemple du calcium qui est très fortement retenu par les hyphes fongiques dans le sol (Blank, 2007).

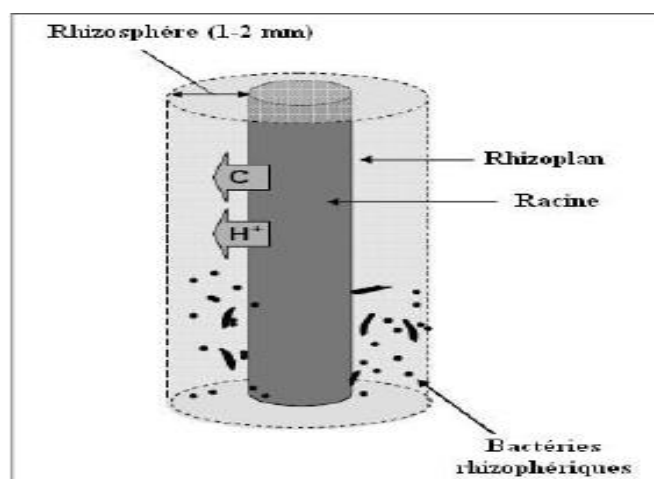


Figure 1. Illustration schématique de la rhizosphère (adaptée de Vega,2007),

C : molécule de carbone.

H⁺ : ions hydrogène

I.2. Généralités sur les rhizobactéries promotrices de la croissance des plantes (PGPR)

La microflore du sol est complexe et variée. Elle comprend des bactéries, des champignons, etc. La distribution des micro-organismes du sol est hétérogène et dépend des facteurs nutritionnels et des facteurs physico-chimiques mais les plus importants se trouvent au niveau de la rhizosphère (Prescott *et al.*, 2003). Une grande partie est considérée comme PGPR, qui partagent le même environnement que les racines des cultures. Elles sont donc exposées aux mêmes contraintes environnementales que ces dernières, telles que la sécheresse, la salinité, les températures extrêmes (Rai, 2017).

I.3. Définition des PGPR

Parmi la communauté microbienne de la rhizosphère, les PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*) sont les plus connues (95 %) et les plus importantes. Elles sont abondantes en raison de leur taux de croissance élevé et de leur capacité à utiliser différentes sources de carbone et d'azote (Glick, 2012). Les rhizobactéries promotrices de la croissance des plantes (PGPR) ont été définies pour la première fois par Kloepper et Schroth (1978) comme étant les bactéries qui colonisent la rhizosphère (Dolkar *et al.*, 2017).

I.4. Forme des PGPR

Les rhizobactéries promotrices de la croissance peuvent interagir avec les racines des plantes par différents types d'association selon différents degrés de proximité avec les racines et selon le sol qui les entoure. Ces bactéries peuvent être classées en : PGPR extracellulaires (PGPR) et PGPR intracellulaires (Martínez-Viveros *et al.*, 2010).

I.5. La diversité taxonomique des PGPR

La région rhizosphérique des plantes abrite divers types de PGPR, en effet les exsudats sécrétés par les racines des plantes c'est un facteur important responsable de la grande diversité microbienne dans la région rhizosphérique (Tilak *et al.*, 2005). Les souches de PGPR appartiennent largement à cinq principaux taxons : Actinobactéries, Bacteroidetes, Cyanobactéries, Firmicutes et Protéobactéries. Il est rapporté que les PGPR de ces taxons les plus couramment étudiés sont *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Enterobacter*, *Gluconacetobacter*, *Paenibacillus*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, et *Serratia* (Bhattacharyya et Jah, 2012 ; Arora, 2015). Parmi les bactéries PGPR d'intérêt agricole les *Pseudomonas* spp fluorescents font l'objet d'une attention particulière. Leur utilisation dans l'agriculture en tant que biofertilisants et biopesticide offre un bon rendement même dans des conditions sévères (Ali *et al.*, 2009)

I.6. Généralité sur *Pseudomonas* spp. fluorescent

Par définition les bactéries du genre *Pseudomonas* sont des bacilles à Gram négatif, non sporulés, généralement mobiles grâce à une ou plusieurs flagelles polaires, aérobies, à métabolisme strictement respiratoire et chimio-organotrophes. Mais cette définition ne permet pas de les différencier des autres bactéries à Gram négatifs et doit être complétée par d'autres caractéristiques phénotypiques (Palleroni, 2008).

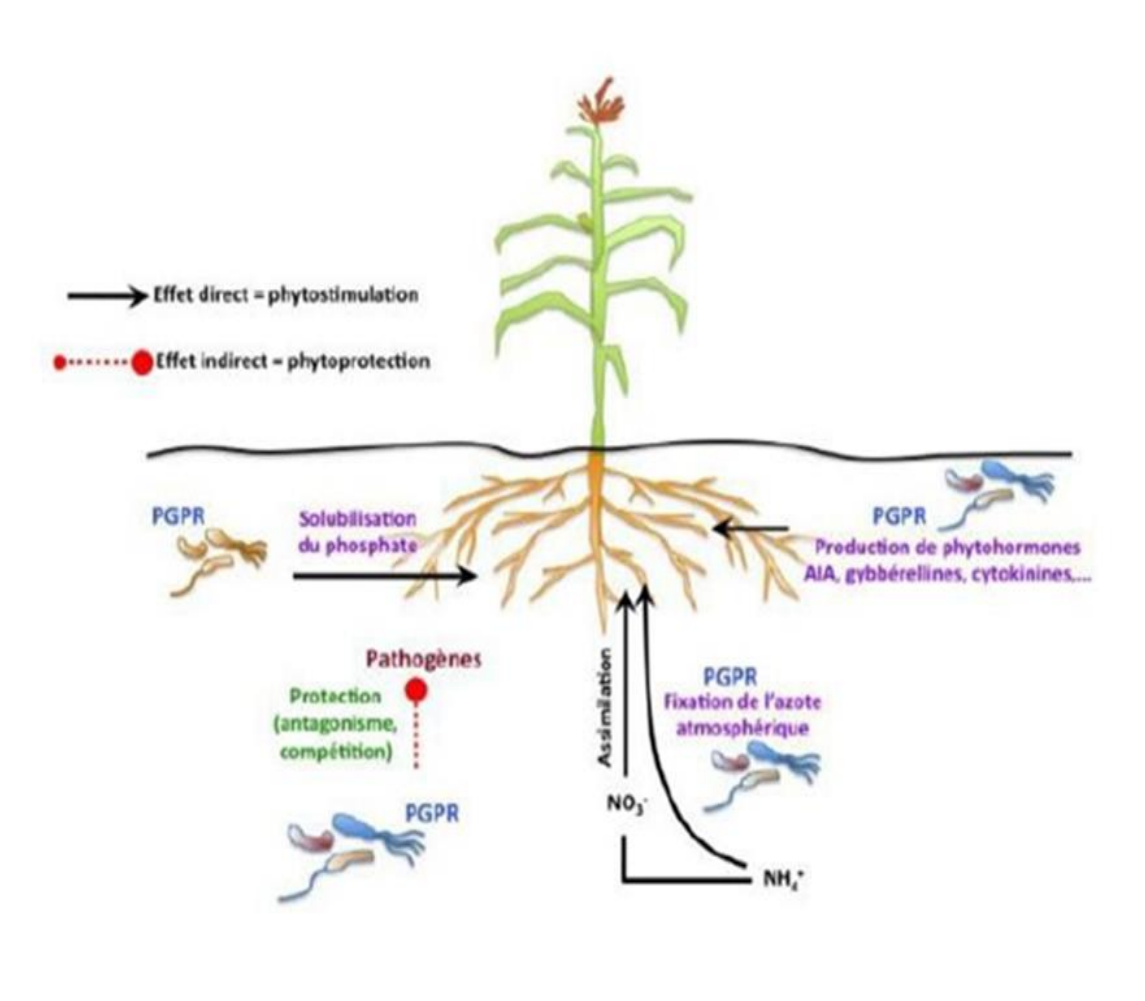
Le genre *Pseudomonas* est un large groupe qui englobe plus de 60 espèces colonisant le sol, les plantes, les eaux douces et marines (Gross et Loeper, 2009). Cette adaptation à diverse niche écologiques reflète la capacité de ce genre à produire de nombreux métabolites qui sont connus par leurs importances pour les plantes, les maladies humaines et potentiellement dans le domaine de la biotechnologie (Silby *et al.*, 2011). Dans le groupe des

espèces fluorescentes, *Pseudomonas fluorescens*, est le plus étudié (Shanmugam *et al.*, 2008). Il est composé de bactéries qui dans des conditions de carence en fer produisent des pigments jaune-vert fluorescents, huit espèces différentes appartiennent à ce groupe, *Pseudomonas aeruginosa* espèce pathogène de l'homme, *P. syringae*, *P. viridiflava* et *P. cichorii* espèces phytopathogènes, et enfin *P. fluorescens*, *P. putida*, *P. aureofaciens* et *P. chlororaphis* qui rassemblent des organismes saprophytes (Weller et Cook, 1983)

II. Effet bénéfique de *Pseudomonas* spp fluorescents

Plusieurs interactions bénéfiques, symbioses ou non, voire délétères (pathogénie), sont observées entre plantes, bactéries et champignons du sol fleurissent l'activité biologique de ce sol. Parmi les interactions bénéfiques aux plantes on peut citer les symbioses fixatrices d'azote, les associations avec les bactéries promotrices de croissance PGPR ou de santé, ou les interactions avec les champignons mycorrhizogènes (Elaine, 2015).

Les PGPR interviennent sur la croissance des plantes selon plusieurs mécanismes de manière directe ou indirecte (figure 2). Ces bactéries sont capables de coloniser efficacement les systèmes racinaires et influencent de manière bénéfique la plante en stimulant sa croissance et/ou en la protégeant contre des infections par des agents phytopathogènes.



(Source : Khan *et al.*, 2009)

Figure 2. Interactions entre plantes et bactéries coopératives dans la rhizosphère.

II.1. Effet directe 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 végétales (Munees et Mulugeta, 2013). Les *Pseudomonas* spp. fluorescents saprophytes habitants des sols agricoles et de la rhizosphère des plantes sont impliqués dans de nombreuses interactions avec les plantes (Schroth *et al.*, 1992). De nombreux travaux font état d'une stimulation de la croissance des plantes et du rendement des cultures après bactérisation dans des conditions expérimentales variées (Lemanceau, 1992).

II.2. Acquisition des ressources

II.2.1. 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 N₂ dans l'atmosphère, il est indisponible pour les plantes en croissance. Le N₂ atmosphérique est converti en formes utilisables par la plante par la fixation biologique de N₂ par les bactéries en utilisant un système enzymatique complexe appelé nitrogénase (Kim et Rees, 1994). Les bactéries fixatrices de l'azote ont la capacité de récupérer l'azote atmosphérique et de le fournir aux plantes par deux mécanismes : symbiotiques et non symbiotiques. Dans la Rhizosphère nombreux genres sont recensés tels *Achromobacter*, *Arthrobacter*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Enterobacter*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Serratia* (Gray et Smith, 2005). La colonisation bactérienne des racines se réalise progressivement à partir de cellules isolées qui se développent ensuite en biofilm (Lugtenberg et Kamilova, 2009).

II.2.2. 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 inorganique (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 (H₂PO₄) et basique (HPO₄)₂ (Govind *et al.*, 2015). La solubilisation microbienne du phosphate joue un rôle important dans la conversion du P insoluble en P soluble. En effet il a été démontré que certains microorganismes du sol sont impliqués dans la solubilisation des phosphates insolubles. Ces microorganismes bénéficient directement du P biodisponible nécessaire pour leur croissance. Le principal mécanisme de solubilisation des phosphates est la production d'acide organique, la libération des groupements phosphates liés à la matière organique est assurée par l'action des phosphatases (Kumar *et al.*, 2002).

II.2.3. 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). 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). On a signalé que les micro-organismes des sols jouaient un rôle clé dans le cycle K naturel et par conséquent les microorganismes solubilisant de potassium présent dans le sol pourraient fournir une technologie alternative pour rendre le potassium disponible pour l'absorption par les plantes (Rogers *et al.*, 1998).

II.2.4. Production de siderophore

A l'exception de quelques micro-organismes, tous les organismes vivants nécessitent du fer pour leur croissance. En effet, cet élément intervient en tant que co-facteur dans de nombreux processus métaboliques tels que la synthèse des acides nucléiques (Dougherty et Downs, 2006), la photosynthèse (Okamura *et al.*, 1975), la phosphorylation oxydative (Schafer *et al.*, 1996), le transport et le stockage de l'oxygène, la régulation génétique ou encore le transfert d'électrons (Andrews *et al.*, 2003 ; Wandersman et Delepelaire, 2004).

Les sidérophores sont synthétisés et sécrétés pour la solubilisation d'ions ferriques par des microorganismes aérobies tels que les bactéries, certains champignons mais aussi organismes supérieurs (certaines plantes monocotylédones) en réponse à des conditions de carence en fer (Ratledge et Dover, 2000). l'importance de sidérophore est étroitement liée au fer qui est un élément essentiel pour différents processus biologiques (Crosa et Walsh, 2002). Egalement les bactéries peuvent produire une grande variété de composés à activité antimicrobiennes utilisée en tant que systèmes de défense la chélation de fer par les bactéries ou champignons est un caractère très recherché et présente un intérêt considérable en agriculture. Cette activité assure d'une part une source de fer assimilable par la plante (Dahdah *et al.*, 2015). Elle assure une compétition avec les agents phytopathogènes.

II.3. Production phytohormone

La stimulation de la croissance des plantes bactérisées peut être due à la synthèse microbienne de substances de croissance analogues aux phytohormones (Persello-Cartieux *et al.*, 2003 ; Romans *et al.*, 2007). Tels que : l'auxine, l'acide gibbérellique, cytokinines, et de l'éthylène (Gutierrez-Manero *et al.*, 2001).

II.3.1. Acide Indole Acétique (AIA)

Les plantes ont développé des systèmes élaborés pour réguler les niveaux cellulaires de l'AIA (Normanly et Bartel, 1999) . L'AIA 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 AIA 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 médiate, 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'AIA bactériennes augmentant la surface et la longueur de la racine et fournit ainsi à la plante un meilleur accès aux nutriments du sol.

II.3.2. Aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC) désaminas

L'ACC est le précurseur direct de l'éthylène. 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 l'acid aminocyclopropane-1-carboxylique (ACC). L'ACC oxydase anciennement connue sous le nom d'enzyme formant l'éthylène (EFE). (Adams et Yang, 1979). L'éthylène est une phytohormone clé qui a une large gamme d'activités biologiques peut affecter la croissance et le développement des plantes dans un grand nombre de façons différentes y compris la promotion de l'initiation des racines l'inhibition de l'allongement des racines la promotion de la maturation des fruits, la stimulation de la germination des graines, la promotion de l'abscission des feuilles, 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. L'éthylène 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 à 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).

II.3.3. Production des cytokinines

Plusieurs bactéries stimulant la croissance des plantes telle qu'*Azotobacter* spp. *Rhizobium* spp, *Pantoea agglomerans*, *Rhodospirillum rubrum*, *Pseudomonas fluorescens* et *Bacillus subtilis* peuvent produire des cytokinines pour la promotion de la croissance des plantes (Kung, 2010). Certaines souches de bactéries phytopathogènes, peuvent également synthétiser des cytokinines Cependant il semble que les PGPR produisent des niveaux inférieurs de cytokinines par rapport aux phytopathogène de sorte que l'effet des rhizobactéries favorisant la croissance des plantes, sur la croissance des plantes est stimulante tandis que l'effet des cytokinines des agents pathogènes est inhibiteur (Glick *et al.*, 2007).

II.3.4. Les gibbérellines

Les gibbérellines sont synthétisées par les plantes supérieures, les champignons et les bactéries, ce sont des acides diterpéniques constitués de résidus isopréniques, un nombre important (136) de gibbérellines différentes est identifié et caractérisé. Elles affectent la division et l'allongement cellulaires et sont impliquées dans plusieurs processus de développement tels que la germination des graines, la floraison, la fructification et le retard de la sénescence dans de nombreux organes d'une large gamme d'espèces végétales (Mac Millan, 2002). Les gibbérellines sont également impliquées dans la promotion de la croissance de la racine car elles régulent l'abondance des poils racinaires (Bottini *et al.*, 2004). La capacité des bactéries à synthétiser des substances de gibbérellines a été initialement décrite chez *A. brésiliens* (tien *et al.*, 1979), et *rhizobium* (williams et de Mallorca, 1982) puis chez différents genres bactériens qui peuplent le système racinaire de

la plante y compris *Azotobacter*, *Arthrobacter*, *Azospirillum*, *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Acinetobacter*, *Flavobacterium*, *Micrococcus*, *Agrobacterium*, *Clostridium*, *Burkholderia* et *Xanthomonas* (Mitter *et al.*, 2002). La promotion de la croissance des plantes par les PGPR productrice de gibbérellines et rapportée par plusieurs travaux et cet effet positif sur la biomasse végétale est souvent associé à un teneur accru en gibbérellines dans les tissus végétaux (Atzhorn *et al.*, 1988 ; gutierrez-Manero *et al.*, 2009).

III. Effet indirect des PGPR sur les plantes

L'antibiose est définie comme « l'inhibition d'un organisme par le produit métabolique d'un autre organisme » (Cook et Baker, 1974) c'est probablement le mécanisme le plus connu et peut-être le plus important utilisé par les PGPR pour limiter l'invasion de pathogènes dans les tissus de la plante hôte. Il consiste en une inhibition directe de la croissance du pathogène via la production de métabolites aux propriétés antifongiques et/ou antibiotiques (Thomashow *et al.*, 1997) (Maksimov *et al.*, 2011). Les souches de *Pseudomonas* spp. fluorescents produisent une variété de métabolites antifongiques puissants impliqués dans le biocontrôle, comme l'acide cyanhydrique (HCN) (Defago, 1993 ; Haas et Defago, 2005).

III.1. Production d'antibiotiques par les *Pseudomonas* spp. fluorescents

Les *Pseudomonas* spp. fluorescents sont des producteurs potentiels d'une gamme variée d'antibiotiques avec un large spectre d'action sur des agents fongiques telluriques. Parmi ces antibiotiques les pyolutéorine (PLT), les phenazines (pcA), les pyrrolnitrines (Prn) le 2,4-diacétyl- phloroglucinol (DAPG), les tropolone et l'oomycine... (Keel *et al.*, 1991, Kloepper *et al.*, 1991). Les phenazines (pcA) le 2,4 diacétyl- phloroglucinol (DAPG) sont les majeurs déterminants rapportés dans le biocontrôle de plusieurs agents phytopathogènes (Defago et Hass, 2005). Ainsi le DAPG produit par une souche de *Pseudomonas fluorescens* (CHA0) protège *Arabidopsis thaliana* contre *Peronospora parasitica* (Lavicoli *et al.*, 2013).

III.2. Production d'HCN

Le cyanure d'hydrogène (HCN) qui est un métabolite secondaire produit par les protéobactéries est impliqué dans la suppression d'agents pathogènes comme *Thielaviopsis basicola*, *Septoria tritici* et *Puccinia recondita* (Laville *et al.*, 1998 ; Ramette *et al.*, 2003).

La production d'HCN au niveau de l'adaptation à la rhizosphère peut être avantageuse pour acquérir des nutriments (Ellis *et al.*, 2000). La production d'HCN a été mise en évidence chez plusieurs souches de *Pseudomonas* fluorescents (Askeland et Moeisson, 1983), l'HCN joue un rôle important dans la limitation de développement de pathogènes telluriques (O'Sullivan et O'Gara, 1992) sa production peut même inhiber la croissance de plusieurs champignons phytopathogènes via la phase gazeuse in-vitro (Blummer et Haas, 2000).

III.3. Enzyme extracellulaire hydrolytique

La production d'enzymes hydrolytiques tels β -1,3-gluconase, exo- et endo-polygalacturonases, pectinolyases, cellulases et chitinases, contribuant à la dégradation des parois cellulaires fongiques (Whippes, 2001).

III.4. La compétition trophique

La compétition consiste en « la consommation ou le contrôle de l'accès à une ressource comme les nutriments l'espace ou tout autre facteur dont la disponibilité est limitée » (Widden, 1994). Dans certains cas les rhizobactéries à croissance rapide peuvent éliminer les pathogènes fongiques par une compétition pour le carbone et les sources d'énergie (Kamilova *et al.*, 2005). La compétition trophique instaurée par les *Pseudomonas* spp. fluorescents porte particulièrement sur la compétition pour le fer (Loper et Buyer, 1991), par la synthèse des sidérophores et de protéines membranaires réceptrices (Dujiff *et al.*, 1999). Les sidérophores ce sont des substances de faible poids moléculaire et servant de transporteur de l'ion ferrique Fe^{+3} à l'intérieur de la cellule microbienne (Jacques *et al.*, 1993). Les espèces de *Pseudomonas* spp. fluorescents ont un grand pouvoir de chélation du fer et pourraient rendre l'ion ferrique inaccessible aux autres microorganismes (Mercado-Blanco et Bakker, 2007). un caractère dans le biocontrôle des agents phytopathogène (Dahdah *et al.*, 2015). La capacité des rhizobactéries à produire des sidérophores contribue à l'antibioses a fait l'objet de nombreuses études (Maksimov *et al.*, 2011).

III.5. Induction systémique de la résistance des plantes

Le phénomène d'induction de la résistance se traduit par une augmentation de la capacité de se défendre contre un large spectre d'agents pathogène (fongiques, bactéries et viraux)

(Pieterse *et al.*, 2002). Il a été démontré également que *Pseudomonas* spp. fluorescents peuvent jouer le rôle d'éliciteurs sur l'activation des gènes de défense des plantes (Soylu *et al.*, 2002).

Matériel et méthodes

II. Matériel et méthodes

L'objectif principal de cet essai est de mettre en évidence l'effet bénéfique des *Pseudomonas* spp. fluorescents isolées de la rhizosphère de deux plantes spontanées *Astragalus armatus* Willd. et *Tamarix gallica* L. sur la germination des graines de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) sous deux type de stress abiotiques ; salin et calcaire.

II. 1. Matériel biologique

II.1. 1. Les souches bactériennes

Nous avons utilisé deux souches appartenant aux *Pseudomonas* spp. fluorescents non pathogène isolées de la rhizosphère de deux plantes spontanées et identifiées dans les laboratoires de l'université Amar Thelidji. Laghouat (tableau 1).

Tableau 1. Originale des souches bactériennes

Isolats	Origine rhizosphérique	Origine Géographique	Année d'isolement
ASO2	<i>Astragalus armatus</i> Willd. (Gndal)	El assafia. Laghouat	2014
T32	<i>Tamarix gallica</i> L. (Tarfa)	Ain maabed. Djelfa	2019

II.1.2. Matériel végétale

Nous avons utilisé dans ces essais une variété local de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) de la campagne agricole 2019-2020, récolté à la région de El assafia Laghouat.

II.2. Désinfections des graines de l'orge

La désinfection des grains a été réalisé dans une solution de chlorure de mercure HgCl₂ (0.1%), elles y sont immergées pendant 1 min afin d'éliminer toute trace de contamination

superficielle préexistante ; puis rincées 5 fois dans l'eau distillée stérile durant 2 min chacune, et séchées sur papier absorbant stérile (figure 3).

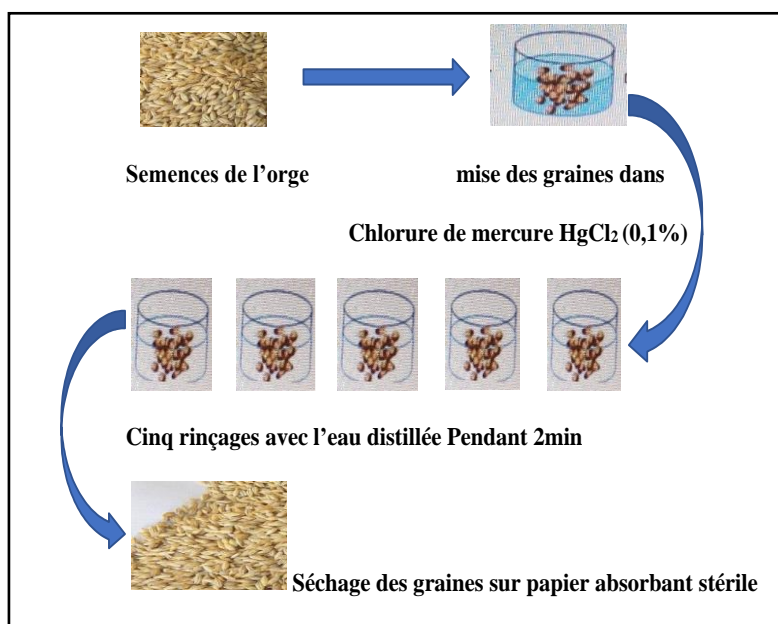


Figure 3. D'infection des semences de l'orge

II.3. L'inoculum bactérien

A partir des cultures bactériennes jeune âgées de 24h des deux souches ASO₂ et T₃₂. Nous avons préparé des inocula bactériens à une concentration de 10⁸ UFC/ml, à l'aide d'un spectrophotomètre à une densité optique (DO) de $\lambda=600\text{nm}$ (figure 4).

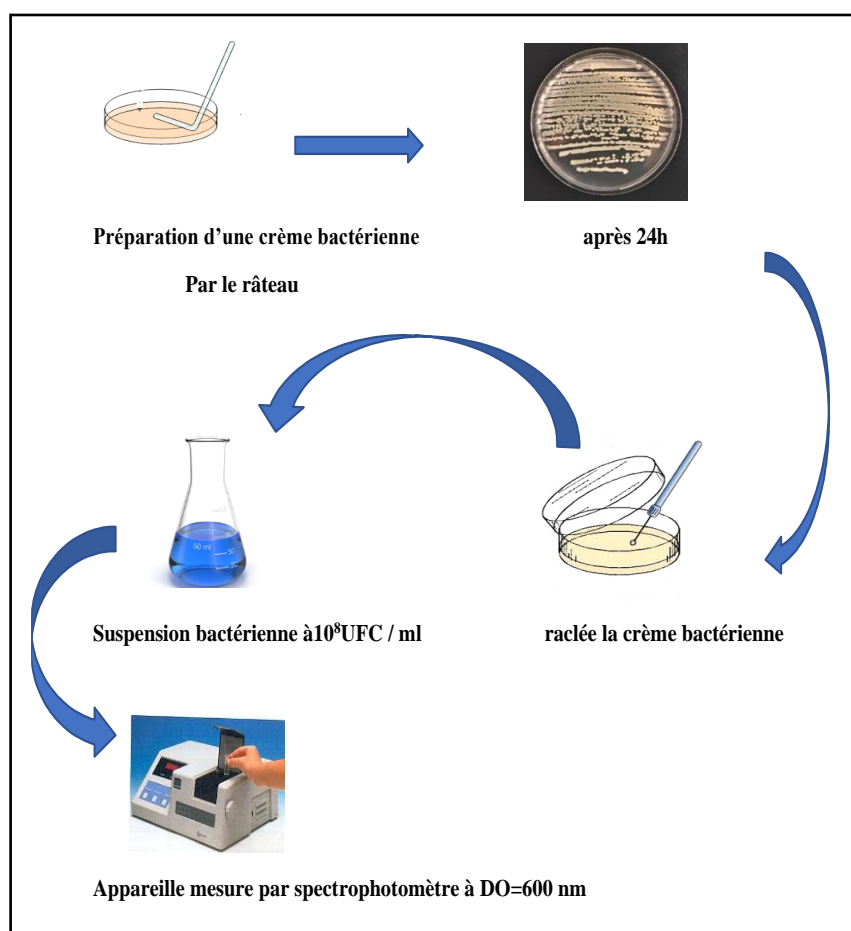


Figure 4. L'inoculum bactérien

II.4. Bactérisation des graines de l'orge

Les graines désinfectées ont été transféré dans les suspensions bactériennes respectives, les témoins ont été mis dans l'eau distillée stérile. Après 24 h et le séchage sur du papier absorbant stérile les graines sont transférées dans des boites transparente stériles d'une capacité de 500 ml, contenant 50 ml du milieu (eau- agar) additionne de la quantité de NaCl ou de CaCO_3 testé, à raison de 50 graines par boite. En suit ces boites ont été laissé à 27°C pour la germination avec des notations quotidienne pendant 15 jours (figure5).

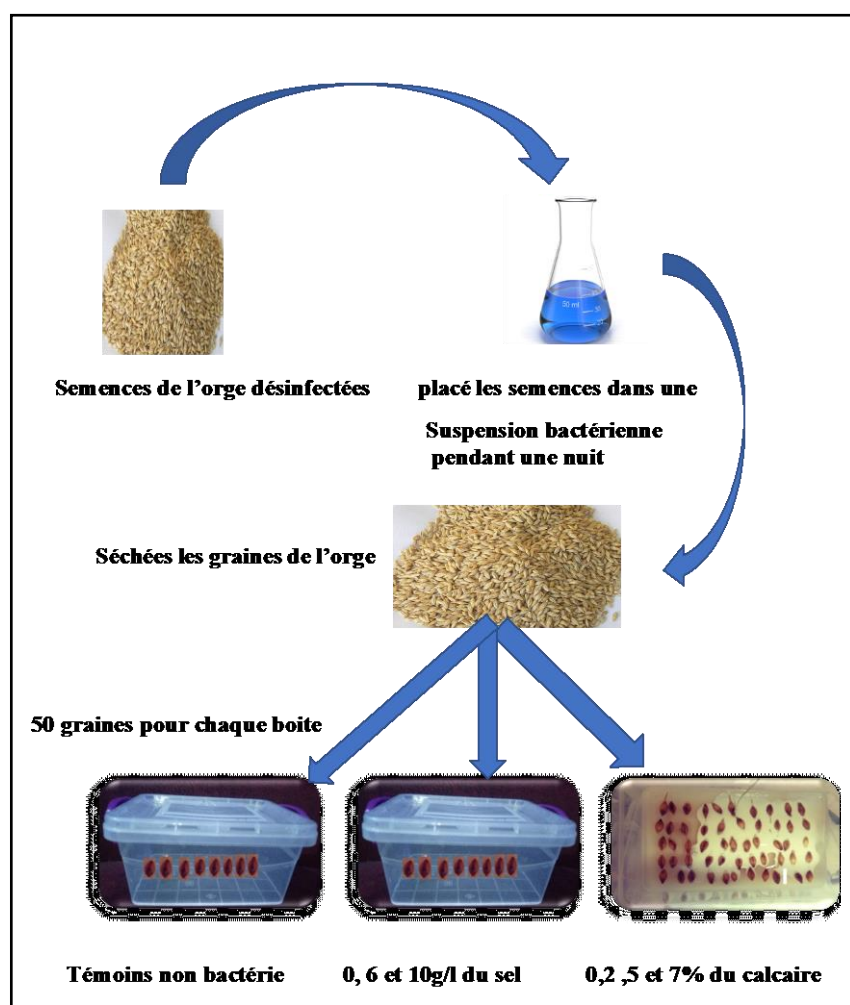


Figure 5. Bactérisation des graines de l'orge

II-5 Dispositif expérimental

Nous avons réalisé deux essais pour mettre en évidence l'effet des *Pseudomonas* spp. fluorescents sur la germination du de l'orge (*Hordeum vulgare* L.), le premier sous stress salin, le deuxième sous stress calcaire. Les deux essais ont été conduit en randomisation totale à deux facteurs étudiés et à trois répétitions :

Essai 1 : effet des *Pseudomonas* spp. fluorescents sous stress salin

- **Facteur 1** : représente la bactérisation avec trois niveaux soit les souches bactériennes la souche Aso2 ou la souche T32 et le témoin non bactérisé (TNB).
- **Facteur 2** : représente la concentration du facteur stressant soit le NaCl avec trois niveaux pour le stress salin de 0 ; 6 et 10g/l de NaCl.

Nous avons **Neuf** traitements qui sont ;

- T1, T2, T3 : correspond à une bactérisation par Aso₂ et la concentration respective de 0 ; 6, et 10g/l de NaCl.
- T4, T5, T6 : correspond à une bactérisation par T32 et la concentration respective de 0 ; 6, et 10g/l de NaCl.
- T7, T8, T9 : : correspond au témoin non bactérisé et la concentration respective de 0 g/l, 6g/l, et 10g/l de NaCl.

Essai 2 : effet des *Pseudomonas* spp. fluorescents sous stress calcaire

- **Facteur 1** : représente la bactérisation avec trois niveaux soit les souches bactériennes la souche Aso₂ ou la souche T32 et le témoin non bactérisé (TNB).
- **Facteur 2** : représente la concentration du facteur stressant soit le calcaire, avec quatre niveaux soit 0 ; 2 ; 5 et 7% de CaCO₃.

Nous avons douze traitements, qui sont,

- T1, T2, T3, T4 correspond à la bactérie Aso₂ avec la concentration respective de 0 ; 2 ; 5 et 7% de CaCO₃
- T5, T6, T7, T8 correspond à la bactérie T32 avec la concentration respective de 0 ; 2 ; 5 et 7% de CaCO₃.
- T9, T10, T11, T12 correspond au témoin non bactérisé avec la concentration respective de 0 ; 2 ; 5 et 7% de CaCO₃.

II. 6. Les paramètres étudiés

L'évaluation de la stimulation la germination des graines de l'orge par des souches rhizobactériennes de *Pseudomonas* fluorescents non pathogène sous stress salin est calcaire a été effectuée sur les paramétrées suivant :

1. Le taux de germination

Le taux de germination est calculé sur base du nombre de graines germes par rapport au nombre totale de graine testées selon l'équation suivant :

$$\text{Le taux de germination (\%)} = (\text{Nombre de graines germer} / \text{Nombre totale de graines testées}) \times 100.$$

2. La longueur des radicules et la longueur des feuilles

Sur papier millimétré, nous avons mesuré la longueur des radicules et la longueur des feuilles en (cm) après 15 jours.

3. Indice de vigueur

L'indice de vigueur est calculé sur la base de la longueur des radicules et des feuilles et le taux de germination selon l'équation suivante :

$$\text{Indice de vigueur} = (\text{longueur de radicule} + \text{longueur de feuille}) \text{ taux de germination}$$

II.7. Analyse statistique

Une analyse de variance (ANOVA) a été réalisée en considérant l'essai randomisation total, à l'aide du logiciel StatBox végétale version 6.9. La comparaison des moyennes a été effectuée par le test de Newemna-Keuls ($\alpha= 5\%$)

Résultats et discussion

III. Résultats et discussion

III.1 Résultats

Les résultats présentés dans cette partie sont issus des essais effectués sur des graines de l'orge pour mettre en évidence l'effet bénéfique des *Pseudomonas* spp. fluorescents isolées de la rhizosphère deux plantes spontanées *Astragalus armatus* et *Tamarix gallica* sur germination de l'orge sous deux types de stress abiotiques ; salin et calcaire .

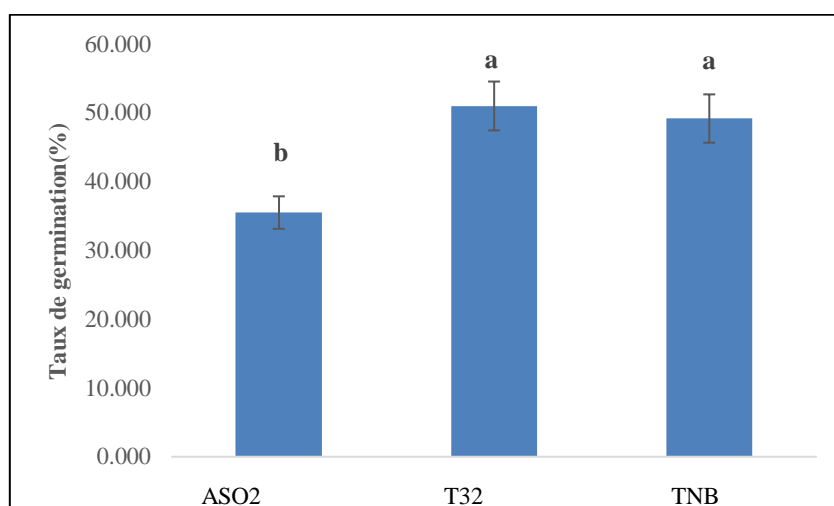
Les analyses statistiques des résultats ont montré différence très hautement significative pour l'ensemble de paramètre étudié que soit pour facteur bactérisation ou le facteur concentration de calcaire ou NaCl, ou pour leur interaction.

III.1.1 Les résultats relatifs à l'essai de l'effet de calcaire et de la bactérisation

III.1.1.1. Sur le taux de germination

a. Facteur 1 bactérisation

Les résultats de l'analyse de variance (Annex1) ont été révéler une différence très hautement significatif ($P=0,000$) pour le facteur bactérisation, la souche T₃₂ et le témoin non bactérisé ont donné les meilleurs taux de germination et ont été classée dans le groupe homogène (**a**) avec respectivement 49,33 et 49,16%, la souche ASO₂ a été classée dans le groupe homogène (**b**) avec un taux de 35,50% (Figure 6).



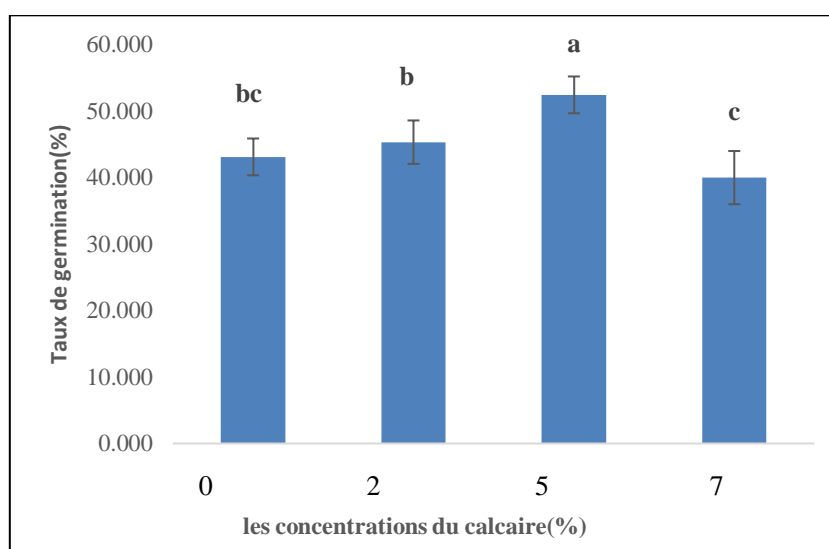
Les valeurs suivies de la même de la lettre appartiennent au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

ASO₂, T₃₂ : souches de *Pseudomonase* spp.fluorescents
TNB : témoin non bactérisé

Figure 6. Effet de Facteur bactérisation sur le taux de germination de l'orge.

b. Facteur 2 concentration du calcaire

D'après l'analyse de la variance (Annexe1) réalisée sur les taux de germination a noté que le facteur de concentration du calcaire à une différence très hautement significatif ($P=0,000$), le taux de germinations à 5% du calcaire sont les meilleures avec 52,44 %, suivi par ceux à la concentration 2% avec un taux de l'ordre de 45,33% que le classe dans le groupe (b), est la concentration 0% de calcaire le taux enregistré est de l'ordre de 43,11% et classé dans le groupe intermédiaire (bc), et le plus faible taux obtenu à la concentration 7% et classé dans le groupe homogène (c) (Figure 7).



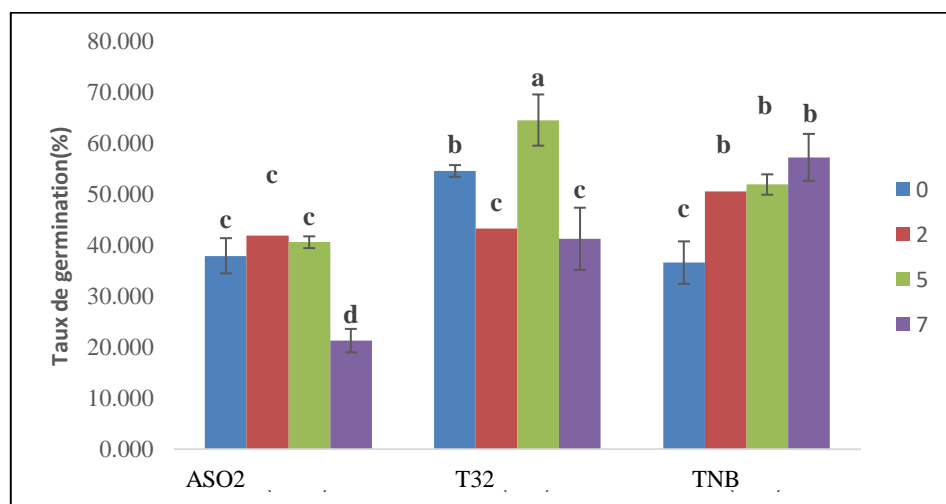
Les valeurs suivies de la même de la lettre appartiennent au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

Figure 7. Effet de facteur concentration de calcaire sur de taux de germination de l'orge.

c. Interaction entre le facteur bactérisation et le facteur concentration du calcaire

D'après l'analyse de la variance (annexe1) effectuée sur les résultats des taux de germination, les résultats ont une différence très hautement significative ($P= 0,000$). Selon ces résultats, le traitement T₃₂ à 5 % du calcaire a donné la meilleure moyenne de l'ordre de 64,66% qui le classe dans le groupe homogène (a). Dans le groupe (b) ont été classés les traitements T₃₂ à 0% et témoin non bactérisé à 2 ; 5 et 7 % de calcaire avec des moyennes allant de 36,66 à 57,33%. Dans le groupe (c) ont été classés les traitements témoin non bactérisé à 0% de calcaire et l'interaction T₃₂ à 2 et 7% de calcaire, ainsi que l'interaction de la souche Aso₂ 0 ; 2 et 5% de calcaire avec des moyennes allant de 38,00 à 42,00 %. Dans

le dernier groupe (**d**) a été classé l'interaction AsO_2 à 7% de calcaire avec le taux le plus faible de 21,31 % (Figure 8).



Les valeurs suivies de la même de la lettre appartiennent au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

ASO₂, T32 : souches de *Pseudomonase* spp.fluorescents
TNB : témoin non bacterisé

0 ; 2 ; 5 ; 7 g/l de CaCO₃

Figure 8. Effet de l'interaction du facteur bactérisation et du facteur concentration de calcaire sur le taux de germination de l'orge.

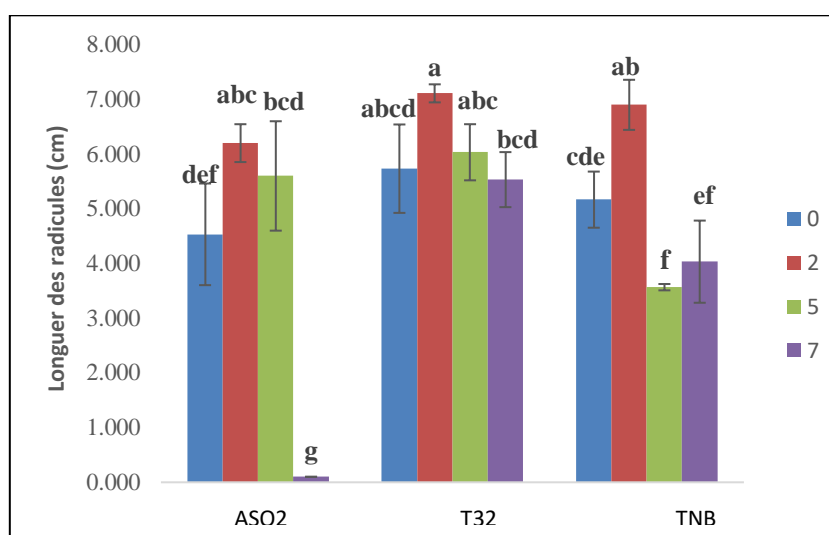
III.1.1.2. Sur la longueur des racicules

a. Facteur 1 bactérisation

L'analyse de la variance (Annexe 2) a révélé une différence très hautement significative ($P=0,000$) pour le facteur bactérisation. La souche bactérienne T₃₂ a donné la racicule la plus longue qui est de l'ordre de 6,10 cm, qui la classe dans le groupe homogène (**a**), et suivi par le témoin non bactérisé qui a donné une valeur de 4,91 cm est classé dans le groupe (**b**), et les plus courtes racicules ont été enregistré par la souche AsO_2 avec une moyenne de 4,10 cm (Figure 9).

c. Interaction entre facteur bactérie et facteur concentration de calcaire

D'après l'analyse de la variance (Annexe2), les résultats ont une différence très hautement ($P=0,000$), pour le traitement T₃₂ à 2% du calcaire a donné la meilleure moyenne de l'ordre de 7,11cm et classé dans le groupe homogène (a), suivi des autres traitements sont classés dans 7 groupe intermédiaire. Dans le group (f) est classé le traitement témoin non bactérisé à 5% du calcaire avec 3,56 cm, et la très faible moyenne enregistrée a été obtenu par le traitement Aso₂ à 7% avec une valeur de 0,10 cm qui le classe dans le groupe homogène (g) (Figure 11).



Les valeurs suivies de la même de la lettre appartiennent au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

ASO₂, T₃₂ : souches de *Pseudomonase* spp.fluorescents
 TNB : témoin non bactérisé
 0 ; 2 ; 5 ; 7 g/l de CaCO₃

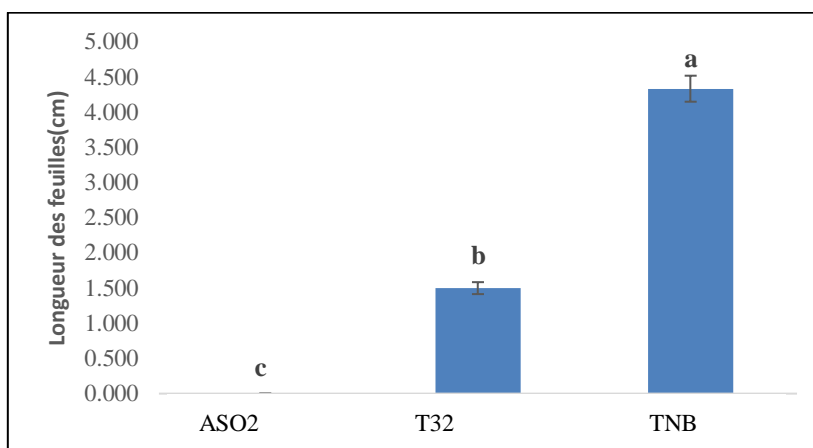
Figure 11. Effet de l'interaction entre le facteur bactérisation et facteur concentration sur la longueur des racicules.

III.1.1.3. Sur la longueur des feuilles

a. Facteur 1 bactérisation

L'analyse de la variance (Annexe3) a révélé une différence très hautement significative ($P=0,000$), pour le facteur bactérisation. Le témoin non bactérisé a donné le meilleur résultat pour la longueur des feuilles avec une moyenne de 4,33 cm, suivi par la souche T₃₂ qui a

donné une moyenne de 1,50 cm, et la faible moyenne a été enregistrée par la souche ASO₂ avec une valeur de 0 aucune feuille n'a été formée (Figure 12).



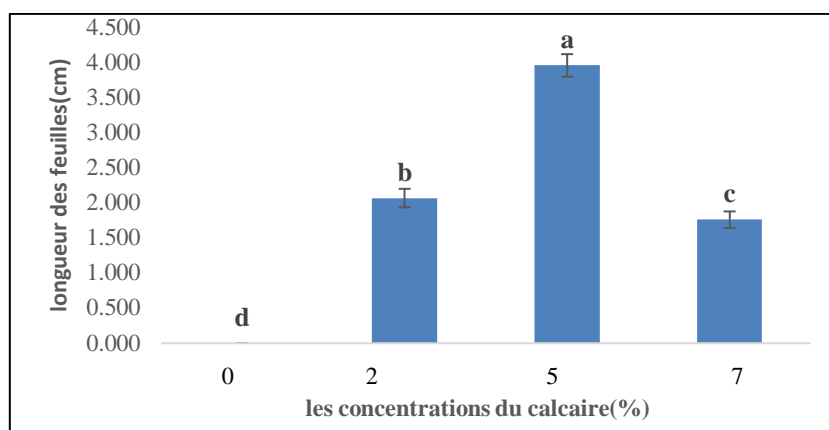
Les valeurs suivies de la même de la lettre appartiennent au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

ASO₂, T₃₂ : souches de *Pseudomonase* spp.fluorescents
TNB : témoin non bacterisé

Figure 12. Effet de facteur bactérisation sur la longueur des feuilles.

a. Facteur 2 concentration du calcaire

D'après l'analyses de la variance (Annexe3) effectuée sur les résultats de la longueur des feuilles, ces résultats ont une différence très hautement significative ($P=0,000$), nous trouvons la concentrations 5 % du calcaire avec la meilleure moyenne de l'ordre 3,95 cm classé dans dans le groupe homogène (**a**), suivi par les concentrations 2 et 7 % qui a donné respectivement des moyenne de 2,06 cm et 1,75cm, qui sont classé respectivement dans les groupes homogènes (**b**) et (**c**), à 0 % de calcaire nous n'avons pas observé la formation feuilles donc avec une moyenne de l'ordre 0 elle sont classé dans le groupe (**d**)(Figure13).

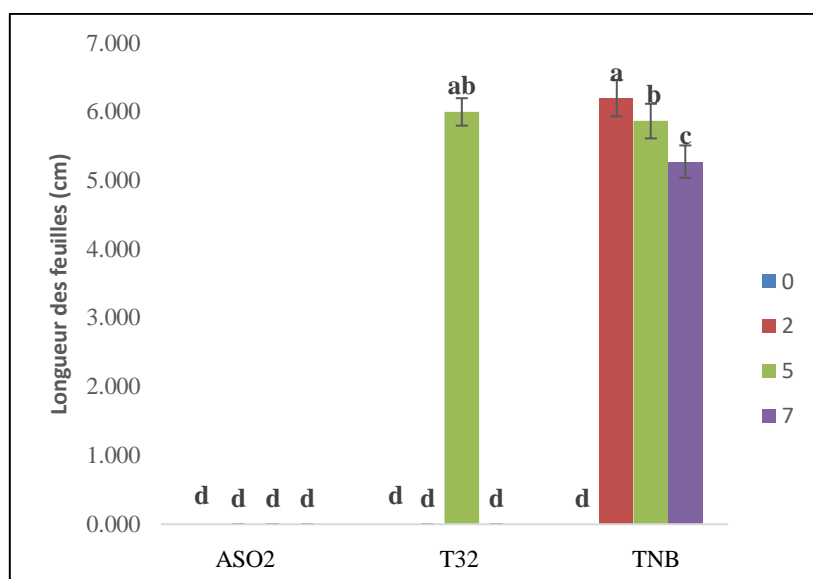


Les valeurs suivies de la même de la lettre appartiennent au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

Figure 13. Effet de facteur concentration sur la longueur des feuilles.

c. Interaction entre facteur bactérisation et facteur concentration de calcaire

pour l'interaction de deux facteurs étudiés, le facteur bactérisation et le facteur concentration du calcaire, l'analyse de la variance (Annexe3) effectuée sur les résultats de la longueur des feuilles a montré une différence est très hautement significatif ($P=0,000$), d'où le traitement témoin non bactérisé à 2% du calcaire a donné la meilleure longueur de feuilles avec une moyenne de l'ordre de 6,20cm, qui le classe dans le groupe homogène (**a**), suivi par la souche T₃₂ à 5% du calcaire avec une moyenne 6,00cm, et qui est classé dans le groupe intermédiaire (**ab**), le témoin non bactérisé à 5 et 2% ont donné respectivement des moyennes de 5,86 et 5,27cm et classés respectivement dans les groupes (**b**) et (**c**). Dans le groupe (**d**) ont été classés tous les traitements où aucune feuille n'a été formée (Figure 14).



Les valeurs suivies de la même de la lettre appartiennent au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

ASO₂, T32 : souches de *Pseudomonase* spp.fluorescents
TNB : témoin non bacterisé.

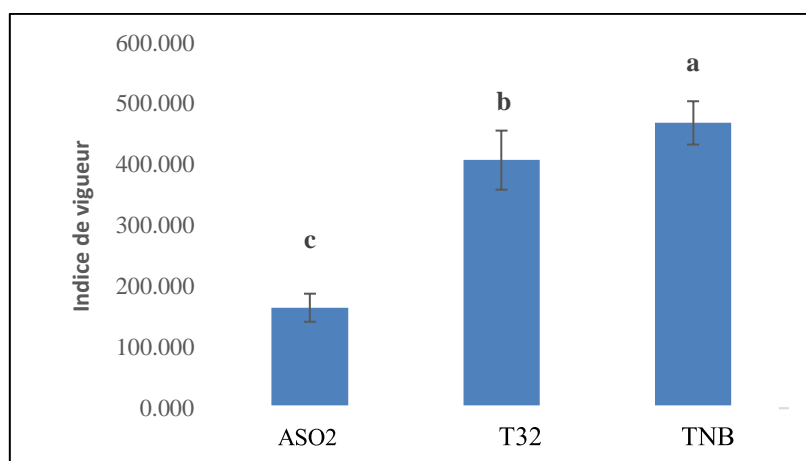
0 ; 2 ; 5 ; 7 g/l de CaCO₃.

Figure 14. Effet de l'interaction entre le facteur bactérisation et le facteur concentration sur la longueur des feuilles.

III.1.1.4. Sur l'indice de vigueur

a. Facteur 1 bactérie

D'après les résultats l'analyses de la variance (Annexe4) effectuée sur l'Indice de vigueur a montré que le facteur bactérie est très hautement significative ($P=0,000$). Le meilleur résultat a été enregistré par le témoin non bactérie avec une moyenne de 469,0 qui classé dans le groupe homogène (a), suivi par la souche T32 avec une moyenne de 407,7 et la faible moyenne enregistrée par la souche Aso₂. (Figure 15).



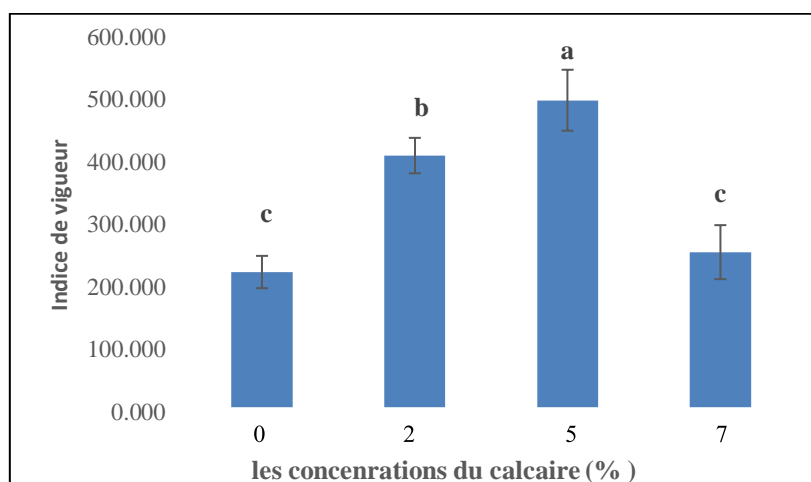
Les valeurs suivies de la même de la lettre appartiennent au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

ASO₂, T₃₂ : souches de *Pseudomonase* spp.fluorescents
TNB : témoin non bacterisé

Figure 15. Effet de facteur bactérisation sur l'indice de vigueur.

b. Facteur 2 concentration du calcaire

D'après l'analyses de la variance (Annexe4) les résultats de l'Indice de vigueur ont une différence très hautement significative ($P=0,000$). D'après ces résultats, nous trouvons la concentration 5% de calcaire en première position avec une moyenne de l'ordre de 498,8 ; suivi par la concentration 2% avec une moyenne de 410,3 et les deux dernières concentrations de 0 et 7% ont enregistré les faibles moyennes avec une moyenne 255,88 et 224,08 respectivement et classé dans le groupe (c) (Figure 16).

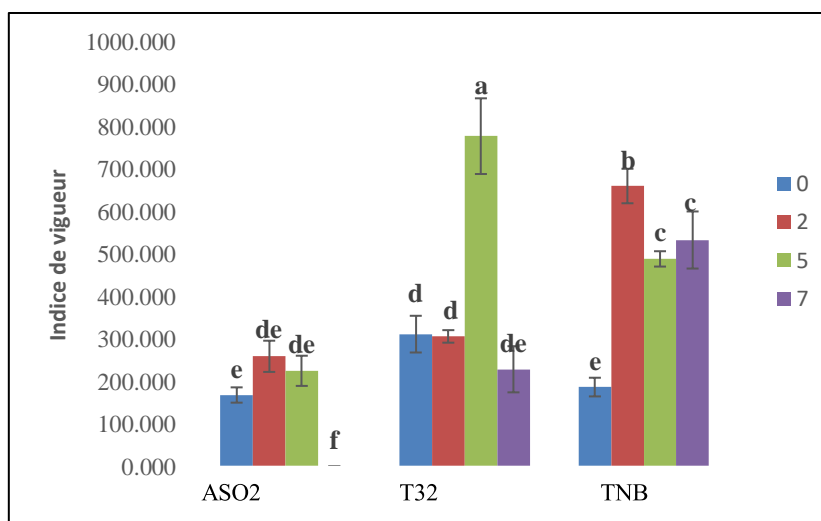


Les valeurs suivies de la même de la lettre appartiennent au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

Figure 16. Effet de facteur de concentration du calcaire sur l'indice de vigueur.

b. Interaction entre facteur bactérisation et le facteur concentration du calcaire

Concernant l'interaction entre les deux facteurs, la bactérisation et la concentration du calcaire, l'analyse de la variance (Annexe 4) a révélé une différence très hautement significatif ($P=0,000$). L'interaction T₃₂ à 5 % de calcaire a donné la meilleure moyenne de l'ordre de 779,2 et classé dans le groupe homogène (a), le traitement témoin non bactérisé à 2% de calcaire a donné une moyenne de 661,9 qui le classe dans le groupe (b), les autres traitements ont été classés dans trois groupes homogènes (c), (d), (e) et un groupe intermédiaire (dc), dans le groupe homogène (f) est classé le traitement ASO₂ à 7% de calcaire où l'indice de vigueur est de 0 (Figure 17).



Les valeurs suivies de la même lettre appartiennent au même groupe homogène, selon le test de Newman-Keuls ($\alpha = 5\%$).

ASO₂, T₃₂ : souches de *Pseudomonase* spp. fluorescents
TNB : témoin non bactérisé

0 ; 2 ; 5 ; 7 g/l de CaCO₃

Figure 17. Effet de facteur bactérisation et facteur concentration du calcaire sur l'indice de vigueur.

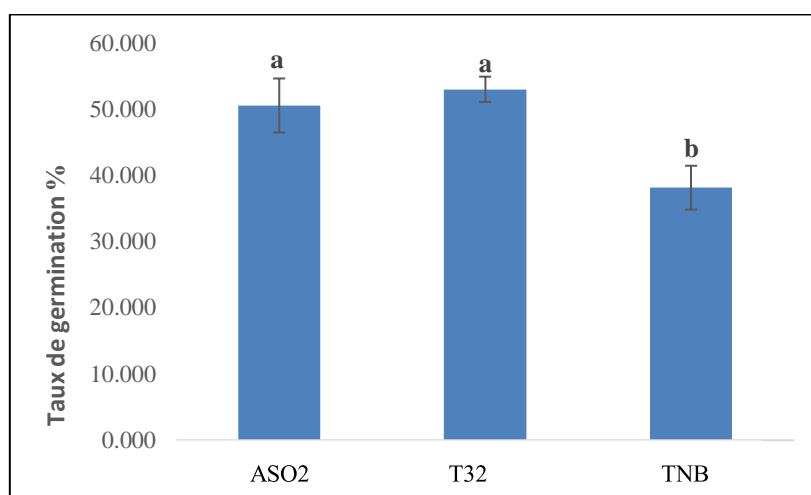
III.1.2. Les résultats relatifs à l'essai de l'effet de salinité et de la bactérisation

III.1.2. 1. sur le taux de germination

a. Facteur 1 bactérisation

Selon les résultats de l'analyse de la variance (Annexe 5) effectuée sur les résultats du taux de germination, on a montré que le facteur bactérisation a une différence très hautement significative.

($P=0,000$). Les deux souches T₃₂ et ASO₂ ont donné respectivement des taux de 53,11 et 50,66 % et sont classé dans le groupe (a), le plus faible taux de germination a été enregistré par le témoin non bactériisé avec 38,22% et classé dans le groupe(b) (Figure18).



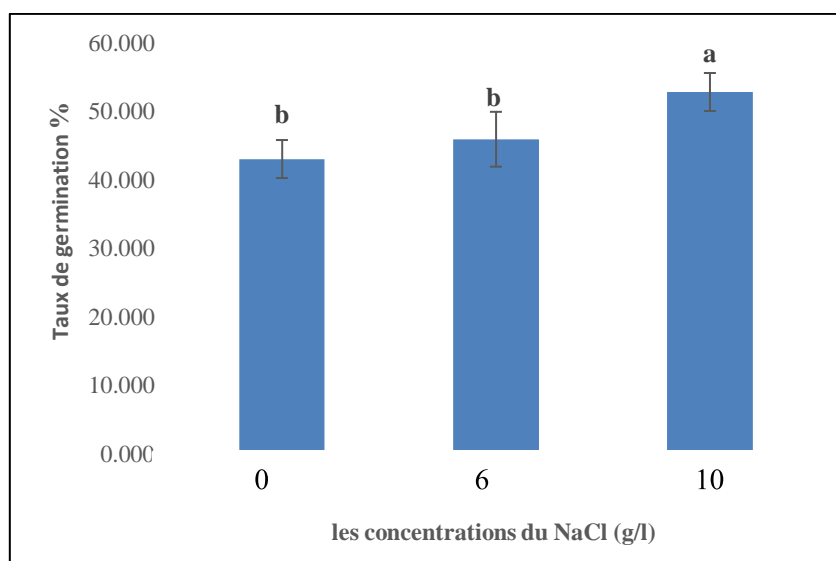
Les valeurs suivies de la même de la lettre appartiennent au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

ASO₂, T₃₂ : souches de *Pseudomonase* spp.fluorescents ;
TNB : témoin non bactériisé

Figure 18. Effet de facteur bactériisation sur le taux de germination de l'orge.

b. Facteur 2 concentration du NaCl

D'après les résultats de l'analyses de la variance (Annexe5) ont révélé une différence très hautement significative ($P=0,000$). À la concentration 10g/l de NaCl a été enregistré le meilleur taux de germination avec une moyenne de 52,88 % qui la classe dans le groupe (a), suivi par les concentrations 6 et 0 g/l de NaCl avec des moyennes respectives de 46,00 et 43,11% et sont classé dans le groupe homogène (b) (Figure 19).

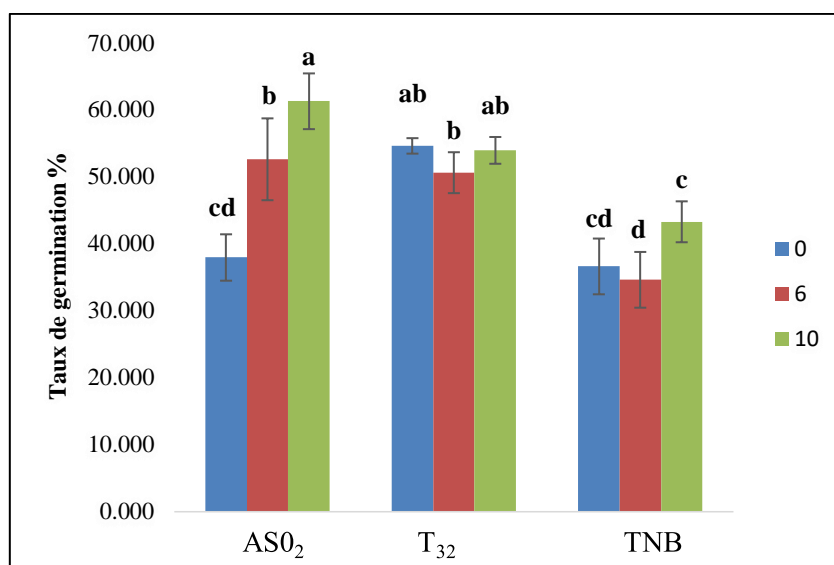


Les valeurs suivies de la même de la lettre appartiennent au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

Figure 19. Effet de facteur concentration NaCl sur le taux de germination de l'orge.

c. Interaction entre facteur bactérie et concentration du NaCl

D'après l'analyse de la variance (Annexe 5) les résultats sur le taux de germination ont une différence très hautement significative ($P=0,000$). Selon ces résultats le traitement Aso₂ à 10g/l de NaCl a donné la meilleure moyenne de l'ordre de 61,33 % et classé dans le groupe (a), suivi par les traitements T₃₂ à 0 et à 10g/l de NaCl classé dans le groupe intermédiaire (ab), avec des moyennes respectives de l'ordre de 54,66% et 54,00%. Les traitements T₃₂ à 6g/l et Aso₂ à 6g/l sont classés dans le groupe homogène (b), le témoin non bactérié à 10g/l de NaCl est classé dans le groupe (c), le témoin non bactérié et Aso₂ à 0g/l de NaCl sont classés dans le groupe (cd), et en fin dans le groupe (d), est classé le témoin non bactérié à 6g/l de NaCl avec une moyenne de l'ordre de 34,66 % (Figure 20).



Les valeurs suivies de la même de la lettre appartiennent au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

ASO₂, T₃₂ : souches de *Pseudomonase* spp.fluorescents
TNB : témoin non bacterisé.

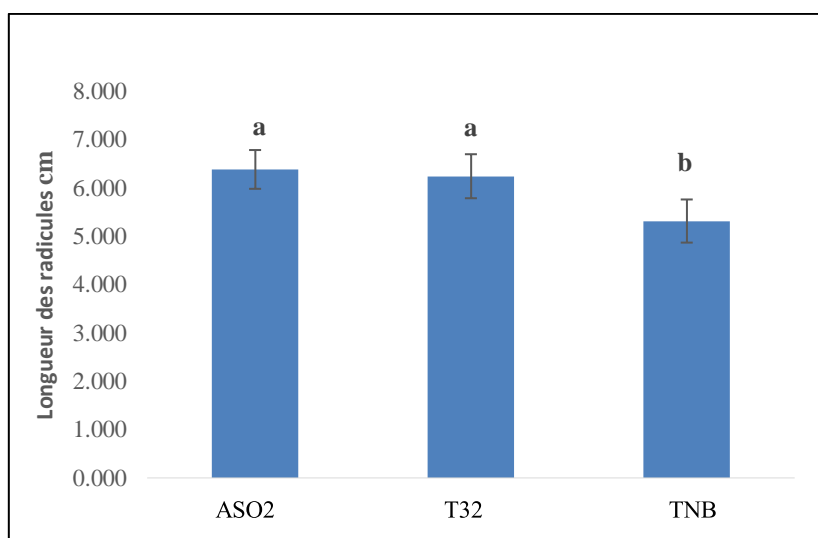
0 ; 6 ; et 10 de NaCl (g/l).

Figure 20. Effet de l'interaction entre le facteur bactérisation et le facteur concentration sur le taux de germination de l'orge.

III.1.2. 2. sur la longueur des racicules

a. Facteur 1 bactérisation

L'analyse de la variance (Annexe 6) réalisé sur la longueur des racicules a révélé une différence très hautement significative ($P=0,000$). Les souches bactériennes ASO₂ et T₃₂ sont classé dans le groupe homogène (a) avec une longueur moyenne de 6,38cm et 6,24cm respectivement, et le témoin non bactérisé a donné la plus faible moyenne avec 5,322 cm et classé dans le groupe (b) (Figure 21).



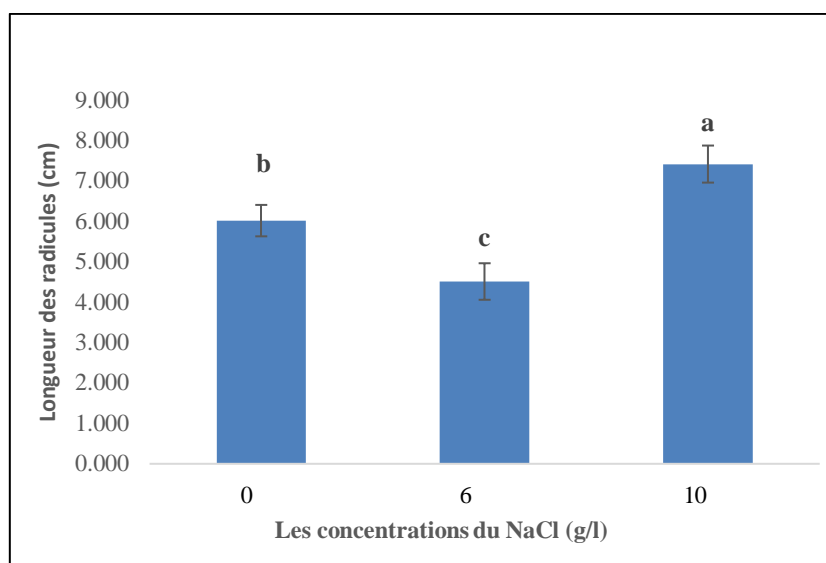
Les valeurs suivies de la même de la lettre appartiennent au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

ASO₂, T₃₂ : souches de *Pseudomonase* spp.fluorescents
TNB : témoin non bacterisé

Figure 21. Effets de facteur bactérisation sur la longueur des racicules.

b. Facteur 2 concentration du NaCl

Selon les résultats obtenus de l'analyse de la variance effectuée sur les résultats de la longueur des racicules, le facteur concentration en NaCl à une différence est très hautement significative ($P=0,000$). Le meilleur résultat de la longueur des racicules est obtenu à la concentration 10g/l du NaCl avec une moyenne 7,42 cm, suivi par la concentration 0g/l avec une moyenne de 6,00cm et en fin la concentration 6g/l avec une moyenne de 4,52 cm, et sont classés respectivement dans trois groupes homogènes (a) (b) et (c) (Figure 22).

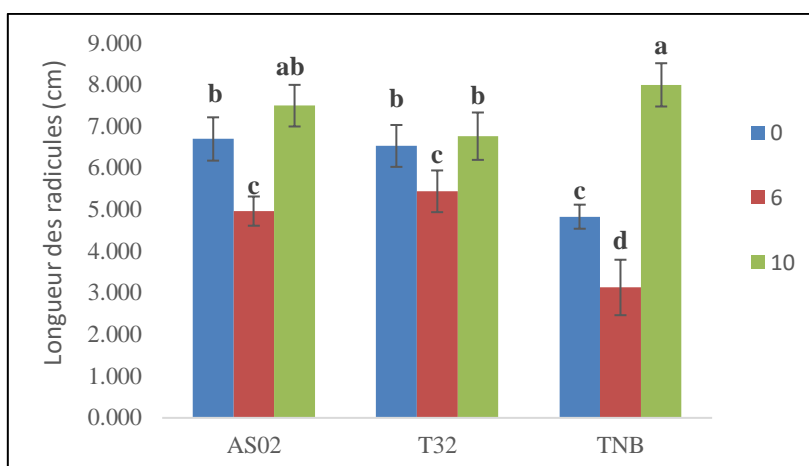


Les valeurs suivies de la même de la lettre appartiennent au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

Figure 22. Effets de facteur de concentration du NaCl sur la longueur des racicules.

c. Interaction entre le facteur bactérisation et le facteur concentration du NaCl

Les résultats soulignés dans la (figure23) ont montré une différence très hautement significative de l'interaction entre le facteur bactérisation et le facteur concentration du NaCl ($P=0,000$). Le témoin non bactérisé à 10 g/l de NaCl a enregistré une longueur des racicules moyenne de 8,00 cm classé dans le groupe (**a**), suivi par l'Aso₂ à 10 g/l de NaCl avec une moyenne de 7,50 cm et classé dans le groupe intermédiaire (**ab**), les traitements T₃₂ à 10 et 0 g/l de NaCl, Aso₂ à 0 g/l de NaCl sont classés dans le groupe (**b**), avec des moyennes allant de 6,53 à 6,76 cm. Dans le groupe (**c**) sont classés les traitements Aso₂ et T₃₂ à 6 g/l de NaCl et le témoin non bactérisé à 0 g/l de NaCl avec des moyennes allant de 4,83 à 5,44 cm, dans le dernier groupe (**d**), se classe le témoin non bactérisé à 6 g/l de NaCl une moyenne de 3,13 cm.



Les valeurs suivies de la même de la lettre appartiennent au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

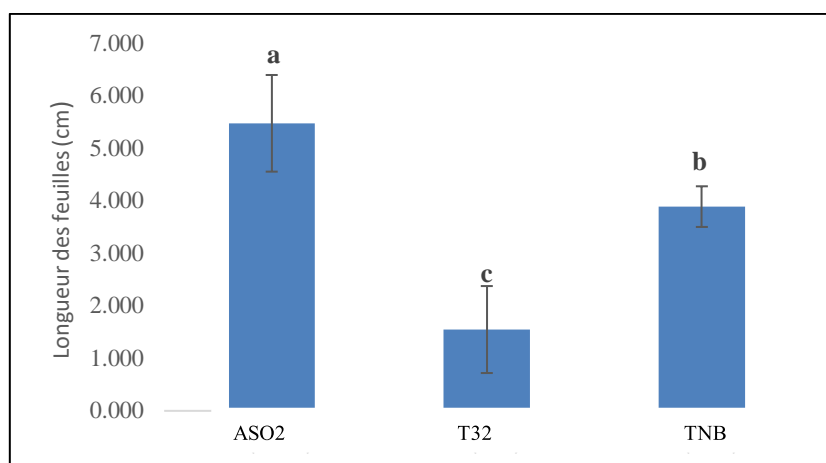
ASO₂, T₃₂ : souches de *Pseudomonase* spp.fluorescents
 TNB : témoin non bacterisé
 0 ; 6 ; et 10 de NaCl (g/l).

Figure 23. Effets de l'interaction du facteur bactérisation et facteur de concentration de NaCl sur la longueur des radicules.

III.1.2. 3. sur la longueur des feuilles

a. Facteur 1 bactérisation

Selon l'analyses de la variance (Annexe 7), effecteur sur les résultats de la longueur des feuilles a révélé un effet très hautement significatif ($P=0,000$) pour le facteur bactérisation. La souche bactérienne ASO₂ a enregistré une moyenne de 5,47cm, et le témoin non bactérisé une moyenne de 3,88cm, et la souche bactérienne T₃₂ avec une moyenne de 1,54 cm, et sont classé respectivement dans les groupes homogènes (a), (b)et (c) (Figure 24).



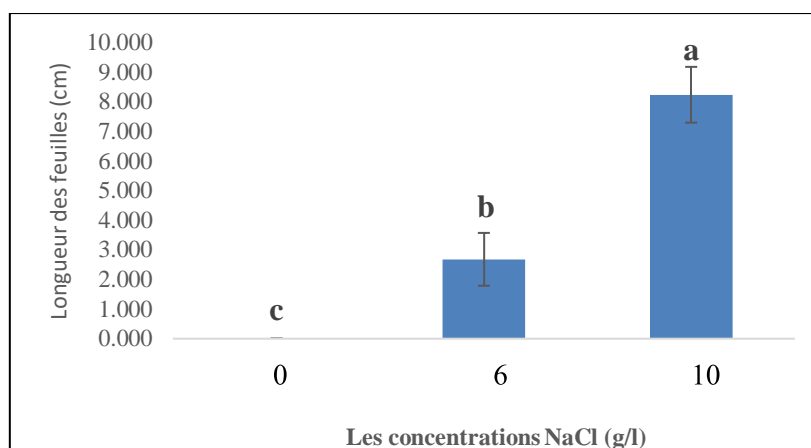
Les valeurs suivies de la même de la lettre appartiennent au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

ASO₂, T₃₂ : souches de *Pseudomonase* spp.fluorescents
TNB : témoin non bacterisé

Figure 24. Effets de facteur bactérisation sur la longueur des feuilles.

b. Facteur 2 concentration du NaCl

L'analyse de variance (Annexe7) a montré que le facteur concentration en NaCl a une différence très hautement significative ($P=0,000$). À la concentration 10g/l de NaCl, nous avons obtenu une longueur des feuilles moyenne de l'ordre de 8,33cm. Suivi par la concentration 6g/l avec une moyenne de l'ordre de 2,67cm, en fin, à 0g/l de NaCl aucune feuille n'a été formé, et ils sont classés respectivement dans les groupes homogène (a), (b) et (c) (Figure 25).

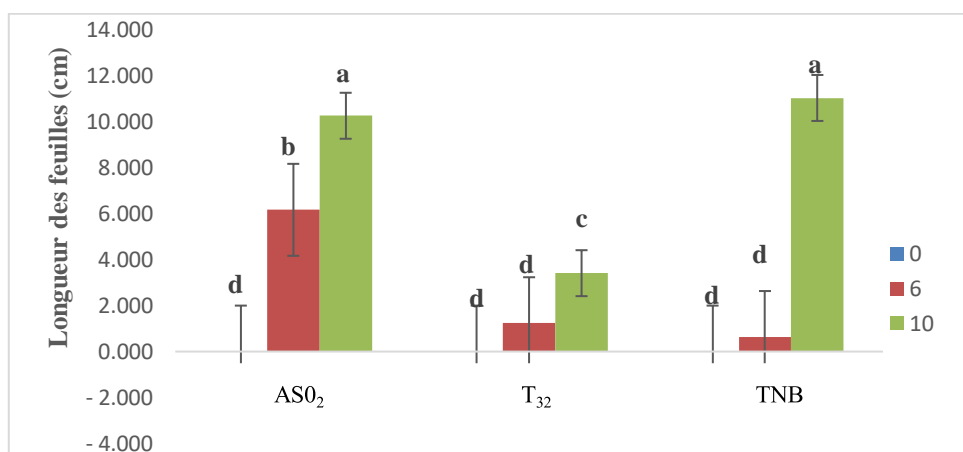


Les valeurs suivies de la même de la lettre appartiennent au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

Figure 25. Effets de facteur concentration sur la longueur des feuilles.

c. Interaction entre le facteur bactérisation et le facteur concentration du NaCl

Pour l'interaction bactérisation et concentration en NaCl, l'analyse de variance (Annexe7) a montré des différences très hautement significatif pour la longueur des feuilles ($P=0,000$). À la concentration 10g/l de NaCl, le témoin non bactérisé et la souche Aso₂, ont donné les meilleures moyennes avec respectivement 11,03 et 10,25 cm, qui les classe dans le groupe homogène (a), suivi par Aso₂ à la concentration 6g/l de NaCl dans le groupe (b), avec une moyenne de 6,16cm. La souche T₃₂ à la concentration 10g/l de NaCl est classé dans le groupes (c), avec une moyenne de 3,41cm. Dans le groupe homogène (d), sont classé les autres traitements soit T₃₂ à la concentration 6 et à 0g/l de NaCl, Aso₂ et le témoin non bactérisé à la concentration 6 et à 0g/l avec des moyennes de 0 jusqu'à 1,23cm (Figure 26).



Les valeurs suivies de la même de la lettre appartiennent au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

ASO₂, T₃₂ : souches de *Pseudomonase* spp.fluorescents
 TNB : témoin non bacterisé.
 0 ; 6 ; et 10 (g/l) de NaCl.

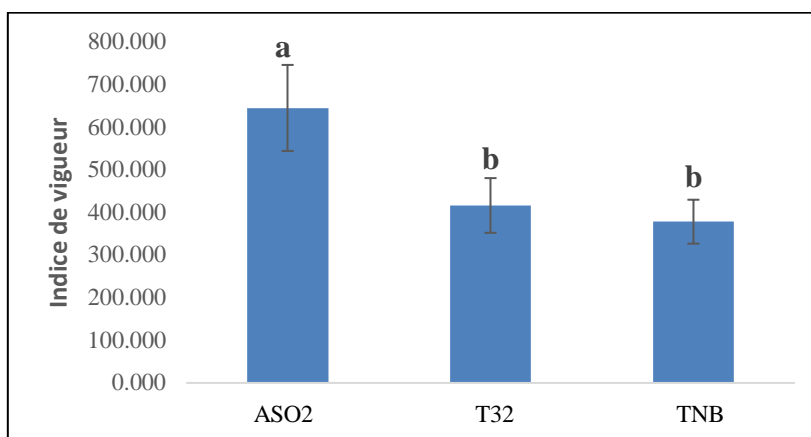
Figure 26. Effets de l'interaction de facteur bactérisation et concentration de NaCl sur la longueur des feuilles.

III.1.2. 4. Sur de l'indice de vigueur

a. Facteur 1 bactérisation

A partir de l'analyse de variance (Annexe 8), nous avons observé qu'il y a une différence très hautement significative pour le facteur bactérisation ($P=0,000$). La souche Aso₂ a donné une moyenne de 645,3 qui la classe de groupe(a), suivi par la souche T₃₂ et le témoin non

bactérisé avec des moyennes respectives de 416,3 et 378,4 et sont classés dans le groupe (b) (Figure 27).



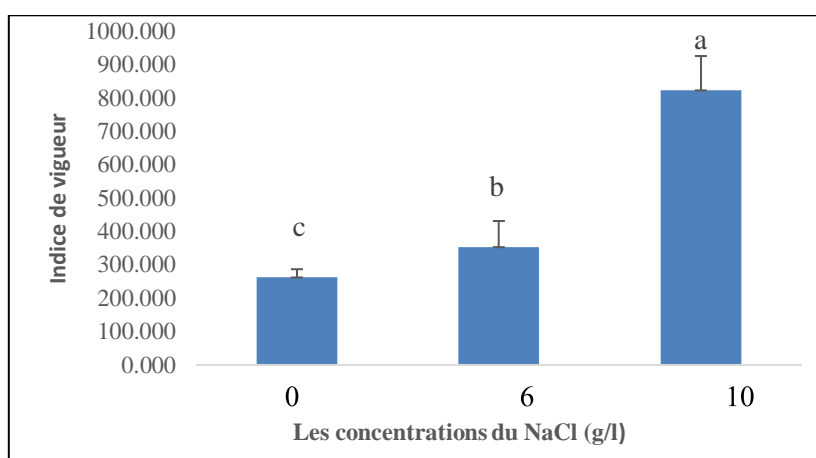
Les valeurs suivies de la même de la lettre appartiennent au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

ASO₂, T₃₂ : souches de *Pseudomonase* spp.fluorescents
TNB : témoin non bacterisé

Figure 27. Effet de facteur bactérisation sur l'indice de vigueur.

b. Facteur 2 concentration du NaCl

Nous avons observé aussi que le facteur concentration de NaCl est très hautement significatif ($P=0,000$). La concentration 10g/l de NaCl avec une moyenne de 823,2 est classé dans groupe(a), suivi par la concentration 6g/l de NaCl avec moyenne de 353,7 et la concentration 0g/l de NaCl avec une moyenne de 263,06 et sont classés de respectivement dans les groupes homogène (b) et (c) (Figure28).

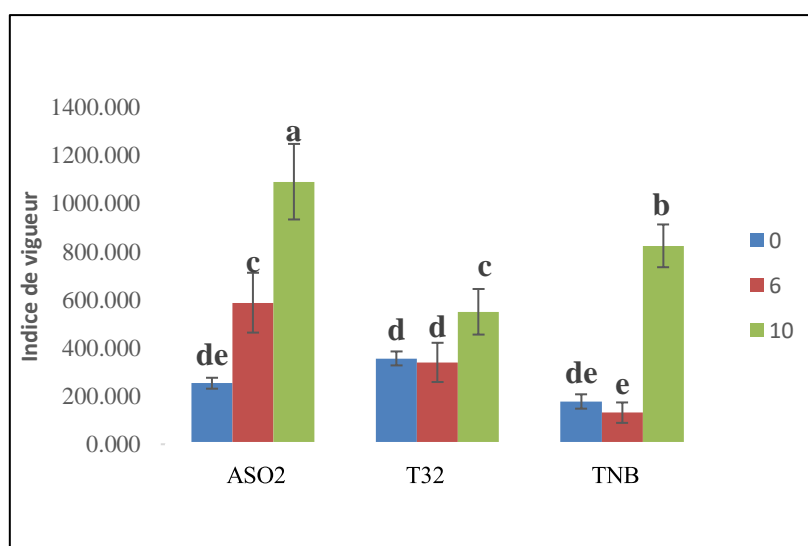


Les valeurs suivies de la même de la lettre appartiennent au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

Figure 28. Effet de facteur concentration de NaCl sur l'indice de vigueur.

c. Interaction entre facteur bactérisation et concentration NaCl

Concernant l'interaction du facteur bactérisation et le facteur de la concentration, l'analyse de la variance a révélé des résultats très hautement significatif ($P=0,000$). Dans le groupe homogène (a), la souche Aso₂ à 10g/l de NaCl a enregistré la meilleure moyenne de l'ordre de 1092,7 ; Suivi par le témoin non bactérisé à 10g/l de NaCl et il est classé dans le groupe (b). La souche Aso₂ à 6g/l de NaCl et T₃₂ à 10g/l de NaCl sont classé dans le groupe (c), T₃₂ à 0 g/l de NaCl est classé dans le groupe (d). Dans le groupe intermédiaire (dc), sont classé les interactions Aso₂ et le témoin non bactérisé ; les deux à 0g/l de NaCl. En fin dans le groupe (e), est classé le témoin non bactérisé a 6g/l de NaCl avec un indice de l'ordre 131,46 (Figure 29).



Les valeurs suivies de la même de la lettre appartiennent au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

ASO₂, T₃₂ : souches de *Pseudomonase* spp.fluorescents
 TNB : témoin non bacterisé
 0, 6, 10 g/l de NaCl.

Figure 29. Effet de l'interaction du facteur bactérisation et le facteur concentration NaCl sur l'indice de vigueur.

III.2. Discussion

Dans cette partie nous discuterons les résultats de la stimulation de la germination des graines de l'orge par les *Pseudomonas* ssp. fluorescents sous stress abiotiques, la salinité et le calcaire.

D'après l'analyse de nos résultats nous avons constaté que le coefficient de variation (cv) de nos analyse statistique est très élevé donc notre essai manque de précision malgré ça et d'après l'analyse de variance du test de germination *in vitro*, nous avons enregistré des résultats très hautement significatifs pour les facteurs étudiés et leurs interactions.

La souche T₃₂ à 5% de calcaire a enregistré le meilleur taux de germination de 64,66 % comparais avec le témoin non bactérié à la même concentration soit 5 % avec un taux de 52,00 % et du témoin non bactérié à 0% de calcaire avec des taux de 36,00 %, la même souche à la même concentration a enregistré l'indice de vigueur le plus élevé comparais avec le témoin non bactérié à la même concentration avec un indice de 490,40 et le témoin non bactérié à 0% avec un indice de vigueur de 188,80 ; des taux presque le double que le témoin non bactérié.

Alors que pour le stress salin, la souche Aso2 à 10g/l de NaCl a enregistré le taux le plus élevé de 61,33% comparais celui obtenu par le témoin non bactérié à la même concentration soit un taux de 43,33% et avec le témoin non bactérié à 0 g/l de NaCl avec un taux de 36,66 %. De même pour l'indice de vigueur, où la souche Aso₂ à 10 g/l de NaCl a enregistré un indice de vigueur de 1092,71 comparais avec le témoin non bactérié à la même concentration soit 10 g/l de NaCl avec 825,80, et de témoin non bactérié à 0 g/l de NaCl avec un indice de vigueur de 178,00.

Sachant que la concentration élevée des différents ions de sel dans le sol, principalement le sodium et le chlore mais aussi d'autres ions tel que le potassium, calcium, carbonate, nitrate, et la sulfate provoque une diminution dans l'acquisition de l'eau par les racines des plantes. Aussi, La concentration de certains ions, notamment Na⁺ est maintenue basse grâce à des vacuoles intracellulaires qui stockent ces ions à l'aide de pompes à ions ATP-dépendantes (Kosová *et al.*, 2011). Le chlorure de sodium (NaCl) constitue le principal agent

responsable du stress salin, chez les plantes son effet peut être observé par la diminution de la croissance ou même la mort de la plante. La salinité du sol provoque le stress chez la plante soit en rendant difficile le captage de l'eau par les racines ou bien par toxicité via l'accumulation d'une grande concentration de sel dans la plante. De plus, la salinité peut affecter la synthèse protéique la photosynthèse et les métabolismes lipidiques (Rojas-Tapias *et al.*, 2012).

Parmi les mécanismes impliqués dans la gestion du stress, l'augmentation de la teneur en proline (Morris *et al.*, 1969), les travaux d'el Jaafari (1993) où il a été mentionné qu'il y a une accumulation de proline chez trois variétés de blé soumises à des concentrations accentuées de salinité, Rajas Karan *et al.* (2000) ont montré que l'augmentation des teneurs de la solution d'irrigation en sel est accompagnée parallèlement par une augmentation croissante et relativement régulière de proline.

Sous des conditions de stress abiotique les PGPR synthétisent ou accumulent certaines molécules dites « solutés compatibles » car compatibles avec le fonctionnement physiologique de la cellule entière ces molécules permettent à la cellule de s'adapter aux conditions sévères de stress salin, thermique, nutritionnel, oxydatif etc. (Caldas *et al.*, 1999 ; Oren, 2003). De même le stress abiotique active chez les PGPR la synthèse de biomolécules actives jouant un rôle dans le captage des nutriments et l'adaptation de ces microorganismes et des plantes coenvironnantes aux conditions inhabituelles. Dans les conditions de stress abiotiques, les PGPR provoquent chez les plantes des modifications à plusieurs niveaux (physiques, moléculaires etc.), ceci s'effectue le plus souvent par la synthèse d'enzymes permettant d'induire la croissance des plantes. Parmi elles la 1-aminocyclopropan carboxylate (AAC) désaminase joue un rôle important dans la régulation du niveau de l'éthylène produit par les plantes en réduisant sa synthèse sous des conditions inconvenables, l'éthylène est une phytohormone de croissance dont la synthèse est accélérée sous conditions de stress abiotiques empêchant ainsi le développement des plantes et leur rendement final (Saleem *et al.*, 2007 ; Singh et Singh, 2013). Plusieurs bactéries considérées comme PGPR produisent des auxines comme une partie de leurs métabolismes. A titre d'exemple l'auxine acide indole 3acétique (AIA) joue un rôle très important dans la régulation de la croissance des plantes, il affecte principalement les racines de ces dernières, leurs dimensions, le nombre des ramifications racinaires et ainsi la surface racinaire en contact avec le sol (Jha et Saraf, 2012). Les

cytokinines, les gibbérellines, l'acide abscisique et l'éthylène constituent également d'autres groupes de phytohormones bactériennes impliquées dans la promotion de la croissance des plantes (Morrone *et al.*, 2009 ; Reddy, 2014 ; Endo *et al.*, 2014).

Certaines souches bactériennes, appartenant en particulier au groupe de *Pseudomonas* spp. fluorescents semblent améliorer la germination des graines lorsque les conditions de l'environnement sont défavorables (Hofte *et al.*, 1991) ont enregistré une augmentation significative du taux de germination des semences de maïs de soumises au froid après inoculation de deux souches de *Pseudomonas* fluorescents. (Digat *et al.*, 1990) ont montré que certaines souches de *Pseudomonas* peuvent stimuler significativement la germination de graines de tomate même lorsque les conditions d'environnement ne semblent pas favorables, les *Pseudomonas* spp. fluorescents sont des micro-organismes rhizosphériques intervenant dans la stimulation de la germination.

Conclusion

Conclusion

L'étude relative à l'inoculation des graines de l'orge par *Pseudomonas* spp fluorescents est réalisée dans le but d'évaluer l'effet positif des rhizobacteria favorisant la croissance des plantes (PGPR, *plant growth promoting rhizobacteria*) sous stress abiotique salin et calcaire, les deux souches (T₃₂ et Aso₂) testées ont une activité positive sur le taux de la germination de graines par apport au témoin non bactérisé. Elles améliorent très hautement significativement les paramètres morphologiques (la longueur des racines et la longueur des feuilles), ce qui a été confirmé par l'indice de vigueur. Leur efficacité est peut-être liée aux multiple effets PGPR telles que la production de phytohormones.

Enfin et pour faire suite à cette étude, plusieurs pistes de travail peuvent être envisagées nous suggérons :

- Tester les souches T₃₂ et Aso₂ sur la germination des graines comme des bio-stimulation, sous stress d'autre condition sintériser de près à l'effet du calcaire sur les cultures.
- L'utilisation des bactéries PGPR (*plant growth promoting rhizobacteria*), comme une approche biologique semble être la solution prometteuse afin d'améliorer la production de l'orge en Algérie.
- Faire des recherches plus approfondies sur les molécules secrétées par ces bactéries tel que type des sidérophores les phytohormones, et étudie leurs qualités.
- Etudie l'effet de la bactérisations des graines *in vivo* et *in situ* afin de faire une comparaison entre les résultats de la germination *in vitro*.
- Etudie l'effet de la bactérie sur la stimulation de l'induction de la résistance systémique chez les plantes et le biocontrôle des microorganismes phytopathogènes.

*Référence
bibliographique*

A

- Adams, D. O., and Yang, F, (1979).** Ethylene biosynthesis: identification of 1-aminocyclopropane,carboxylic acid as an intermediate in the conversion of methionine to ethylene. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 76, 170-174.
- Ahmad E., Khan M.S. and Zaidi A. (2013).** ACC deaminase producing *Pseudomonas putida* strain,PSE3 and Rhizobium leguminosarum strain RP2 in synergism improves growth, nodulation and yield of,pea grown in alluvial soils. *Symbiosis*.61: 93–104.
- Ali S. Z., Sandhya V., Grover M., Kishore N., Rao L. V., and Venkateswarlu B. (2009).**Pseudomonas sp. strain AKM.P6 enhances tolerance of sorghum seedlings to elevated temperatures. *Biology and fertility of soils*. 46 (1): 45-55.
- Andrews SC, Robinson AK, Rodriguez-Quinones F (2003)** Bacterial iron homeostasis. *FemsMicrobiology Reviews* 27 : 215-237
- Anonyme. (2008).** Les sols salins en Algérie. Institut National des Sols, de l'irrigation et du Drainage (INSID).
- Anoua, B., Jaillard, B., RUIZ, J., Bénét, J. C., et Cousin, B. (1997).** Couplage entre transfert de matière et réactions chimiques dans un sol. Partie 2: Application à la modélisation des transferts de matière dans la rhizosphère. *Entropie*, 33(207), 13-24.
- Ashraf M. et Foolad, M.R. (2007).** Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environ. Experim. Bot.* 59: 206-216.
- Ashraf, M., Ahmad, M. S. A., Öztürk, M. et Aksoy A. (2012).** Crop Improvement through Different Means: Challenges and Prospects. In: Ashraf, M. et al. (eds).*C rop,Production for Agricultural Improvement*. Springer Science+Business Media B.V Dor drecht,The Netherlands, pp 1-15.
- Askeland, R. A. and Morrison, S. M., (1983).** Cyanide production by *Pseudo monasfluorescens* and *Pseudomonas aeruginosa*. *Appl. Environ. Microbiol.* 45: 1802-1807.

Athar, H. R. et Ashraf, M. (2009). Strategies for Crop Improvement against Salinity and Drought Stress: An Overview. In: Ashraf, M. (ed). *Salinity and Water Stress*. Springer Science+ Business Media B.V. Dordrecht, The Netherlands, pp 1-16.

Atzhorn, R, Crozier A, Wheeler C.T. et Sandberg G. (1988). Production of gibberellins and indole-3-acetic acid by *Rhizobium phaseoli* in relation to nodulation of *Phaseolus vulgaris* roots. *Planta* 175 :532-538

B

Bais. H.P, Park. S.W, Weir. T.L, Callaway. R.M and Vivanco. J.M, «How plants communicate using the underground information superhighway», *Trends in Plant Science*, vol. 9, N° 1, January (2004), pp. 26 - 32.

Belkhodja, M., Bidai, Y. (2004). Réponse des graines d'*Atriplex halimus* L. à la salinité au stade de la germination. *Sécheresse*. 15 : 331-5.

Blank. D., «Regard original sur la faune du sol », *EDN*, N° 96, Juillet 2007 pp.1 – 10.

Blumer, C. and Haas, D., (2000). Mechanism, regulation, and ecological role of bacterial cyanide biosynthesis. *Arch. Microbiol.* 173: 170-177.

Bottini, R, Cassan F, et Piccoli p. (2004). Gibberellin production by bacteria and its involvement in plant growth. *Appl. Microbiol, Biotechnol.* 65 :497-503.

Bonjean A., (1995). - L'orge revisitée. *Biofutur*, 147, 28-32. **Collins G.B., (1977).**- Production and utilization of anther-derived haploids in crop plants. *Crop Sci.*, 17, 583-586.

C

Chaussod. R., « La qualité biologique des sols. Évaluation et implications », *Étude et Gestion des Sols*, N° 3, (1996), pp.261-78.

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

Cheverry, C. (1995). Plant behaviour in saline environment. Action eau. Ed. Acad. Agro, Paris, France, 49 pages.

Cleyet.Marel. J et Hinsinger. P., « Le sol milieu vivant, un territoire qui reste à découvrir et à valoriser », Oléagineux, Corps Gras, Lipides, vol. 7, N° 6, Décembre (2000), pp.490 -493.

D

Dahdah, K., Rai, A., Bensidhoum, L., Schmid, M., Hartmann, A et Nabt, E., (2015). *Rev.Microbiol. Ind. San et Environn. Vol 9, N°1:* 1-19

Digat B Gaudilla M, Labadie JM, (1990) Suscepibility of various tomato and lettuce genotypes to plantgrowthpromoting pseudomonas, symbiosis 9.295-303.

Duijff B. J., Recorbet G., Bakker P. A., LoperJ. E., and Lemanceau P. (1999).

Microbial,antagonism at the root level is involved in the suppression of Fusarium wilt by the combination of,nonpathogenic *Fusarium oxysporum* Fo47 and *Pseudomonas putida* WCS358. *Phytopathology*,89(11) :1073-1079.

Dougherty MJ, Downs DM (2006) A connection between iron-sulfur cluster metabolism and the biosynthesis of 4-amino-5-hydroxymethyl-2-methylpyrimidine pyrophosphate in *Salmonella enterica*. *Microbiology-Sgm* **152:** 2345-2353

E

Elaine, (2015). Identifications et caractérisations des bactéries isolées à partir de différents sols. Année universitaire 2016-2017. Université de Tlemcen. ABDESSELAM Newal LATACHE Nour el houda. P40.

El Jaafari S., (1993). - Contribution à l'étude des mécanismes biophysiques et biochimiques de résistance à la sécheresse chez le blé. Thèse de doctorat, Faculté des Sciences agronomiques de Gembloux : 3-34. ss-induced proline accumulation. *Australian Journal of Plant Physiology*, 3 : 513-525.

Ellis, R.J., Timms-ilson, T.M., Bailey., M.J., (2000). Identification of conserved traits in fluorescent pseudomonads with antifungal activity. *Environmental microbiology*. Volume 2, Issue 3 : 274–284.

Endo, A., Okamoto, M. et Koshiba, T. (2014). ABA Biosynthetic and Catabolic Pathways. In: Zhang DP (ed.) *Abscisic Acid: Metabolism, Transport and Signaling*. Springer Science+Business Media Dordrecht. pp 21-46.

G

Glick BR, Todorovic B, Czarny J, Cheng Z, Duan J, et al, (2007). Promotion of plant growth by bacterial ACC deaminase. *Crit Rev Plant Sci* 26: 227-242.

Glick B.R., (2012). *Plant Growth, Promoting Bacteria: Mechanisms and applications* Hindawi Publishing Corporation, Scientifica

Glick B. R. (2014). Bacteria with ACC deaminase can promote plant growth and help to feed the world. *Microbiological research*. 169(1):30-39.

Gonzalez. L.E, Bashan.Y, «Increased growth of the microalga *Chlorella vulgaris* when coimmobilized and cocultured in alginate beads with the plant growth promoting rhizobacteria *Azospirillum brasilense*». *Appl Environ Microbiol* N°66, (2000), pp.1527-1531.

Govind Gupta, Shailendra Singh Parihar, Narendra Kumar Ahirwar, Sunil Kumar Snehi and Vinod Singh (2015). *Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR): Current And Future Prospects for Development of Sustainable Agriculture*, *Microb Biochem Technol*, 7:2.

Gray EJ, Smith DL (2005) Intracellular and extracellular PGPR : commonalities and Distinctions in the plant-bacterium signaling processes. *Soil Biology & Biochemistry* 37 : 395-412.

Gutierrez-Manero FJ, Ramos-Solano B, Probanza A, Mehouchi J, Tadeo FR, Talon M (2001). The plant-growth-promoting rhizobacteria *Bacillus pumilus* and *Bacillus licheniformis* produce high amounts of physiologically active gibberellins. *Physiologia Plantarum* 111 :206-211.

H

Haas, D., and Keel, C., (2003). Regulation of antibiotic production in root-colonizing, *Pseudomonas* spp. and relevance for biological control of plant disease. *Ann u. Rev. Phytopathol.* **41**: 117–153

Hussein K.A. and Joo J.H. (2015). Isolation and characterization of rhizomicrobial isolates for phosphate solubilization and indole acetic acid production. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry.* **58**: 847-855.

Hofte M, Boelens J, Vstraete W (1991) Seed protection and promotion of emergence by the plant growth beneficial *pseudomonas* strain 7NSK2 and ANP15. *Soil biol biochem* **23**:407-410

I

Imbert M, Blondeau R (1998) On the iron requirement of lactobacilli grown in chemically defined medium. *Current Microbiology* **37**: 64-66

J

Jacques P., Delfosse P., Ongena M., Lepoivre P., Cornélis P., Koedam N., Thonart P.(1993) .Les mécanismes biochimiques développés par les " *Pseudomonas*" fluorescents dans la lutte biologique contre les maladies des plantes transmises par le sol. *Cahiers Agriculture.* **2(5)** :301-307.

Jackson. R.B, Canadell. J, Ehleringer. J.R, Mooney, H.A, Sala O.E andchulze, E.D, « A global analysis of root distribution for terrestrial biomes » *Oecologia*, N° 108, (1996), pp.389 . 411.

Jha, C. K. et Saraf, M. (2012). Hormonal Signaling by PGPR Improves Plant Health under Stress Conditions. In: Maheshwari, D. K. (ed). *Bacteria in Agrobiolology: Stress Management*. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, Germany, pp 119-140.

K

Kamilova F., Validov S., Azarova T., Mulders I., and Lugtenberg B. (2005). Enrichment for,enhanced competitive plant root tip colonizers selects for a new class of biocontrol bacteria,Environmental Microbiology.7(11):1809-1817.

Kennedy A.C. (1999).Bacterial diversity in agroecosystems. Agric Ecosyst Environ. 74:65 – 76.

Khan MS, Zaidi A, Ahemad M, Oves M, Wani PA ,(2010). Plant growth promotion by phosphate solubilizing fungi - current perspective. Arch Agron Soil Sci 56:73-98.

Kumar V., Kumar A., Pandey K.D., Roy B.K.(2015). Isolation and characterization of bacterial endophytes from the roots of Cassia tora L. Ann. Microbiol. 65: 139 –1399.

Kung VL., Ozer E.A., Hauser A.R. (2010). The accessory genome of *Pseudomonas aeruginosa*. Microbiol Mol Biol Rev 74:621 –641.

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

Kim J, D.C,(1994).Rees Nitrogenase and biological nitrogen fixation Biochemistry, 33 p p. 389–397.

Kloepper. J.W. and Schroth. M.N, «Plant growth– promoting rhizobacteria on radishes», In: Proc int Conf Plant Pathol Bact Angers, (1978), pp. 379 - 382.

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

L

Laville J, Blumer C, Von Schroetter C, Gaia V, Défago G, Keel C, Haas D.(1998).Characterization of the hcnABC gene cluster encoding hydrogen cyanide synthase and anaerobic regulation by ANR in the strictly aerobic biocontrol agent *Pseudomonas fluorescens* CHA0 J, Bacteriol;180(12) :3187-96.

Lemanceau. P., «Effets bénéfiques de rhizobactéries sur les plantes: Exemple des *Pseudomonas* spp. fluorescents», *Agronomie*, N° 12, (1992), pp. 413 - 437.

Loper J.E., Buyer J.S. (1991). Siderophores in microbial interactions on plant surfaces. *Mol Plant-Microbe Interact.* 4:5 – 13.

Lugtenberg B, Kamilova F (2009) Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria. *Annual Review of Microbiology* **63** : 541-556
Andrews SC, Robinson AK, Rodriguez-Quinones F (2003) Bacterial iron homeostasis. *FemsMicrobiology Reviews* **27** : 215-237.

M

Maksimov, IV., Abizgil'dina, R.R and Pusenkova, L.I ., (2011). Plant growth promoting rhizobacteria as alternative to chemical crop protectors from pathogens (Review). *ApplBiochem Microbiol* 47 : 333-345.

Morrone, D., Chambers, J., Lowry, L., Kim, G., Anterola, A., Bender, K. et Peters, R.J. (2009). Gibberellin biosynthesis in bacteria: separate ent-copalyl diphosphate and ent-kaurene synthases in *Bradyrhizobium japonicum*. *FEBS Lett.* 583:475-80.

MacMillan,J,(2002). Occurrence of gibbérellines in vascular plants, fungi, and bacteria. *J.plant Growth Regul* ,20 :387-442.

Maksimov I. V., Abizgil'Dina R. R., and Pusenkova L. I. (2011). Plant growth promoting, rhizobacteria as alternative to chemical crop protectors from pathogens. *Applied Biochemistry and Microbiology.*47(4).333-345.

Martínez.Viveros O., Jorquera M. A., Crowley D. E., Gajardo G. M. L. M., and Mora M. L.(2010). Mechanisms and practical considerations involved in plant growth promotion by rhizobacteria. *Journal of soil science and plant nutrition.*10(3):293-319.

Mesfin A., K.P. Smith, R. Dill-Macky, C.K. Evans, R.Waugh, C.D. Gustus & G.J. Morris C. J., Thompson J F., Johnson C. M., (1969).- Metabolism of Glutamic Acid and N-Acetylglutamic Acid in Leaf Discs and Cell-free Extracts of Higher Plants. *Journal of Plant Physiology*, 44 : 1023-1026.

Mercado, Blanco J., and Bakker P. A. (2007). Interactions between plants and beneficial, *Pseudomonas* spp.: exploiting bacterial traits for crop protection. *Antonie van Leeuwenhoek*. 92(4):367-389.

Muehlbauer, (2003). Quantitative trait loci for *Fusarium* head blight resistance in barley detected in a two-rowed by six-rowed population. *Crop Sci.*, **43**, 307-318.

MuneesAhemad, Mulugeta Kibret , (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

O

Okamura MY, Isaacson RA, Feher G (1975) Primary acceptor in bacterial photosynthesis: obligatory role of ubiquinone in photoactive reaction centers of *Rhodospseudomonas spheroides*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **72** : 3491-3495.

Oren, A. (2003). Organic compatible solutes. In: Oren, A. (ed). *Cellular Origin and Life in Extreme Habitats, volume 5: Halophilic microorganisms and their environments*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp 279-305.

O'sullivant, D.J. And O'gara, F., (1992). Traits of Fluorescent *Pseudomonas* spp. Involved in Suppression of Plant Root Pathogens, *Microbiological Reviews*, Vol. 56, No. 4 : 662-676.

P

Palleroni, N.J., (2008). The road to the taxonomy of *Pseudomonas*. In: Cornelis, P. (Ed.), *Pseudomonas: Genomics and Molecular Biology*. Caister, Academic Press, Belgium, pp. 1–18.

Parmar P Sindhu SS, (2013). Potassium Solubilization by Rhizosphere Bacteria: Influence of Nutritional and Environmental Conditions. *J Microbiol Res* 3: 25-31.

-

Persello, Cartieaux, F., Nussaume, L., and Robaglia, C., (2003). Tales from the underground: molecular plant–rhizobacteria interactions. *Plant Cell Environ.* 26 : 189–199.

Posey JE, Hardham JM, Norris SJ, Gherardini FC (1999) Characterization of a manganese-dependent regulatory protein, TroR, from *Treponema pallidum*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 96 : 10887-10892

Posey JE, Gherardini FC (2000) Lack of a role for iron in the Lyme disease pathogen. *Science* 288 : 1651-1653.

Poustini K. et Siosemardeh A. (2004). Ion distribution in wheat cultivars in response to salinity stress. *Field Crops Res.* 85: 125-133.

Prescott L. M., Harley J. P., Klein D. A. (2003). Microbiologie. De Boeck : Bruxelles. 2^e édition. 1164p.

R

Rajas karan L. R., Aspinal D., Paleg L. G., (2000). - Physiological mechanism of tolerance of *Lycopersicum* spp. Exposed to salt stress. *Canadian Journal of Plant Science*, 80 :151-152.

Ratledge, C. and Dover, L.G., (2000). Iron metabolism in pathogenic bacteria. *Annu. Rev. Microbiol.* 54: 881–941.

Reddy, P. P. (2014). Potential Role of PGPR in Agriculture. In: Reddy, P. P. (ed.) *Plant Growth Promoting Rhizobacteria for Horticultural Crop Protection*. Springer, India. pp17-34.

Rojas-Tapias, D., Moreno-Galván, A., Pardo-Díaz, S., Obando, M., Rivera, D. et Bonilla, R. (2012). Effect of inoculation with plant growth promoting bacteria (PGPB) on amelioration of saline stress in maize (*Zea mays*). *Appl. Soil Ecol.* 61: 264-272.

Rogers J.R., Bennett, P.C. and Choi, W.J., (1998), Feldspars as a source of nutrients for microorganisms. *American Mineralogy*, 83, 1532-1540.

S

Saleem, M., Arshad, M., Hussain S. et Bhatti A. S. (2007). Perspective of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) containing ACC deaminase in stress agriculture. *J. Ind.Microbiol. Biotechnol.* 34: 635–648

Schafer G, Purschke WG, Gleissner M, Schmidt CL (1996) Respiratory chains of archaea and extremophiles. *Bba-Bioenergetics* 1275 : 16-20

Schroth. M.U, Hildebrand. D.C and Panopoulos. N,«Phytopathogenic Pseudomonads and related plant- associated Pseudomonads», In: the prokaryotes (MP Balows, ed) Springer- Verlag, New York, (1992), pp. 3104 -3131.

Shanmugam V., Ajit N. S., Verma R., and Sharma V. (2008). Diversity and differentiation among fluorescent pseudomonads in crop rhizospheres with whole-cell protein profiles. *Microbiological research.*163(5).571-578.

Silby M.W., Winstanley C., Godfrey S.A.C., Levy S.B., Jackson R.W. (2011). *Pseudomonas* genomes: diverse and adaptable. *FEMS Microbiol Rev* 35(4):652 – 680.

Steenhoudt.O,Vanderleyden. J, «Azospirillum, a free-living nitrogen-fixing bacterium closely associated with grasses: genetic,biochemical and ecological aspects». *FEMS microbial Rev* N°24, (2000), pp. 487-506.

W

Widden P. (1994). Competition and the fungal community. In: Esser K, Wicklow D T et, Svderstrvm B E. *The mycota IV. Environmental and Microbiological* (Eds.), Springer-Verlag,,Berlin, Allemagne. pp. 135-147.

Williams, PM, Sicardi M.de Mallorca (1982). Abscisic acid and gibberellin-like substances in root nodule of *Glycine max.* *plant soil* 65 :19-26.

Annexe

Annexe 1 : Analyse de variance de taux de germination (calcaire).

	S.C. E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var TOTALE	4642,222	35	132,635		
Var. FACTEUR 1	1721,556	2	860,778	61,484	0,000
Var. FACTEUR 2	755,111	3	251,704	17,979	0,000
Var. INTER F1*2	1829,556	6	304,926	21,780	0,000
VAR.RESIDUELLE 1	336,000	24	14,000		

Annexe 1 : Analyse de variance de la longueur des racines (calcaire).

	S.C. E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var TOTALE	125,366	35	3,582		
Var. FACTEUR 1	24,145	2	12,073	34,325	0,000
Var. FACTEUR 2	55,751	3	18,584	52,837	0,000
Var. INTER F1*2	37,028	6	6,171	17,546	0,000
VAR.RESIDUELLE 1	8,441	24	0,352		

Annexe 1 : Analyse de variance de la longueur des feuilles (calcaire).

	S.C. E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var TOTALE	274,333	35	7,838		
Var. FACTEUR 1	116,366	2	58,183	3049,324	0,000
Var. FACTEUR 2	70,873	3	23,624	1238,140	0,000
Var. INTER F1*2	86,636	6	14,439	756,760	0,000
VAR.RESIDUELLE 1	0,458	24	0,019		

Annexe 1 : Analyse de variance d'indice de vigueur (calcaire).

	S.C. E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var TOTALE	1710775,392	35	48879,297		
Var. FACTEUR 1	619867,589	2	309933,795	162,629	0,000
Var. FACTEUR 2	454452,171	3	151484,057	79,487	0,000
Var. INTER F1*2	590717,021	6	98452,837	51,660	0,000
VAR.RESIDUELLE 1	45738,611	24	1905,775		

Annexe 2 : Analyse de variance de taux de germination(sel)

	S.C. E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var TOTALE	2384,000	26	91,692		
Var. FACTEUR 1	1147,556	2	573,778	41,202	0,000
Var. FACTEUR 2	454,222	2	227,111	16,309	0,000
Var. INTER F1*2	531,556	4	132,889	9,543	0,000
VAR.RESIDUELLE 1	250,667	18	13,926		

Annexe 2 : Analyse de variance de longueur des racicules (sel)

	S.C. E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var TOTALE	60,236	26	2,317		
Var. FACTEUR 1	6,043	2	3,022	11,994	0,001
Var. FACTEUR 2	38,066	2	19,033	75,550	0,000
Var. INTER F1*2	11,593	4	2,898	11,504	0,000
VAR.RESIDUELLE 1	4,535	18	0,252		

Annexe 2 : Analyse de variance de longueur des feuilles(sel)

	S.C. E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var TOTALE	491,873	26	18,918		
Var. FACTEUR 1	70,252	2	35,126	46,991	0,000
Var. FACTEUR 2	317,495	2	158,747	212,372	0,000
Var. INTER F1*2	90,671	4	22,668	30,325	0,000
VAR.RESIDUELLE 1	13,455	18	0,747		

Annexe 2 : Analyse de variance d'indice de vigueur(sel)

	S.C. E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var TOTALE	2566471,695	26	98710,450		
Var. FACTEUR 1	375211,841	2	187605,921	24,883	0,000
Var. FACTEUR 2	1627430,326	2	813715,163	107,927	0,000
Var. INTER F1*2	428119,051	4	107029,763	14,196	0,000
VAR.RESIDUELLE 1	135710,476	18	7539,471		