



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



Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTE : SCIENCES

DEPARTEMENT : SCIENCES AGRONOMIQUES

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par : SAIS HIBAT ERRAHMENFATIHA

KHITER KHAOULA

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

FILIERE : SCIENCES AGRONOMIE

OPTION : PROTECTION DES VEGETAUX

Thème

**Contribution à l'étude de la biostimulation de blé dur
(Triticum durum) par des *Pseudomonas spp.*
Fluorescents sous stress salin**

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Qualité
MALLEM HAMIDA	Président
AMARA YACINE	Examineur
AMEUR JAMILA	Rapporteur

Promotion : JUILLET 2022

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
DJAMILLA 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 a la Faculté des sciences de la Nature et
La Vie, Université AMAR THERIDI LAGHOUI.*

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

*Nous tenons à remercier aussi les
Membres du jury : Amara Yacine et madame
Maalem Hamida*

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

Dédicace

C'est grâce à Dieu الله,

Le tout puissant qui m'a donné le courage
Et la volonté pour achever ce modeste travail

Qui je dédie :

A Mon Père et ma très chère Mère

Et toute ma famille KHITER

Mes profs tout ma promotion

ET mes camarades

KHADULA KHITER

Dédicace

Je dédie ce modeste mémoire :

*À mon très cher père, merci la couronne de ma tête
pour votre soutien*

Tout au long de mon chemin d'étude

À ma très chère mère, Dieu te protège.

À mes chères sœurs : kawthar bouchra latifa

À me cher frère : khaled

*Je vous souhaite une vie pleine de bonheur et de
succès et que Dieu, le tout puissant, vous protège et
vous garde.*

hiba

Nom :
Khiter
Sais

Prénom:
Khaoula
Hiba

Encadreur :
Ameur Djamilia

Résumé :

Titre : Etude Contribution à l'étude de la biostimulation de blé dur (*Triticum durum*) par des *Pseudomonas spp. Fluorescents* sous stress salin

Parmi les céréales, le blé est la culture stratégique de l'Algérie. Le principal problème de la culture de ces cultures dans la région sèche est la salinité, car l'eau d'irrigation dans cette région est chargée de sels.

Notre objectif est d'apporter plus dans la recherche d'une solution aux problèmes de stress abiotiques auxquels nous sommes confrontés dans nos régions, notamment au niveau du sol où la salinité est élevée, en exploitant les bactéries locales comme alternative écologique et économique.

La stratégie d'étude de ce travail est de mettre en évidence l'effet des souches Lors de la germination du blé dur (*Triticum dur*) (*Astragalusarmatus*. et *Tamarixgallica*, la fluorescence a été isolée des racines de deux plantes spontanées) In vitro et in vivo *Pseudomonas spp*

Les souches (R2, AZ24, P429, P12) qui ont été sélectionnées pour étudier leur effet sur la biostimulation de la germination du blé sous pression saline ont montré une augmentation du taux de germination des graines d'environ 50% par rapport au témoin non bactérien.

(AZ24, P429, R2 sous pression saline) (P12, AZ24, P429, R2). En plus d'une amélioration très significative des paramètres morphologiques (longueur des racines et longueur des feuilles), qui a été confirmée par l'indice de résistance .

Mots clés : PGPR, *Pseudomonas spp.* Fluorescent, chlorure de sodium. germination. blé dur

Family Name :
Khiter
Sais

First Name :
Khaoula
Hiba

supervisor :
Ameur Djamila

Abstract

Titel : Study Contribution to the study of the biostimulation of durum wheat (*Triticum durum*) by *Pseudomonas* spp. Fluorescents under salt stress

Among cereals, wheat is Algeria's strategic crop. The main problem of growing these crops in the dry region is salinity, as the irrigation water in this region is loaded with salts.

Our goal is to contribute more in the search for a solution to the problems of abiotic stress that we face in our regions, especially at ground level where the salinity is high, by exploiting local bacteria as an ecological and economic alternative.

The study strategy of this work is to highlight the effect of strains During germination of durum wheat (*Durum Triticum*) (*Astragalusarmatus*. and *Tamarixgallica*, fluorescence was isolated from the roots of two spontaneous plants) In vitro and in vivo *Pseudomonas* spp

The strains (R2, AZ24, P429, (P12) which were selected to study their effect on the biostimulation of wheat germination under salt pressure showed an increase in the seed germination rate of about 50% compared to the control. non-bacterial. AZ24, P429, R2 under salt pressure) (P12, AZ24, P429, R2). In addition to a very significant improvement in morphological parameters (root length and leaf length), which was confirmed by the resistance index

Keywords: PGPR, *Pseudomonas* spp. Fluorescent, sodium chloride. germination. durum wheat

اللقب:
خيثر
سايس

الاسم :
خولة
هيبة الرحمان

المشرف:
عامر جميلة

ملخص

العنوان:

المساهمة في دراسة التحفيز الحيوي للقمح القاسي (*triticum durum*) بواسطة *Pseudomonas spp fluorescents* تحت ضغط الملح.

من بين الحبوب ، يعتبر القمح المحصول الاستراتيجي للجزائر. المشكلة الرئيسية لتنمية هذه المحاصيل في المنطقة الجافة هي الملوحة ، لأن مياه الري في هذه المنطقة محملة بالأملاح.

هدفنا هو توفير المزيد في البحث عن حل لمشاكل الإجهاد الأحيائي التي تواجهنا في مناطقنا ، وخاصة على مستوى الأرض حيث يكون مستوى الملح مرتفعاً ، من خلال استغلال البكتيريا المحلية كبديل بيئي واقتصادي

استراتيجية الدراسة لهذا العمل هي تسليط الضوء على تأثير السلالات أثناء إنبات القمح القاسي

، تم عزل التائق من جذور نباتين *Tamarixgallica* و *Astragalusarmatus* (

في المختبر وفي الجسم الحي

أظهرت السلالات (P12 ، P429 ، AZ24 ، R2) التي تم اختيارها لدراسة تأثيرها على التحفيز الحيوي لإنبات القمح تحت ضغط الملح زيادة في معدل إنبات البذور بنسبة تقارب 50٪ مقارنة بالسيطرة غير البكتيرية.

سلالات (P12, AZ24, P429, R2) تحت ضغط الملح. بالإضافة إلى تحسين كبير للغاية في المعلمات المورفولوجية (طول الجذور وطول الأوراق) ، وهو ما أكدته مؤشر القوة.

الكلمات الرئيسية: *Pseudomonas spp*، PGPR. الفلورسنت ، كلوريد الصوديوم. إنبات. القمح القاسي

Liste des figures

Liste des figures

N° figure	page
Figure1. schéma simplifie représentant les effets directes et indirectes des rhizoé bactéries : exemple illustré des <i>Pseudomonsspp.</i> fluorescents.....	06
Figure2. schéma présentant la préparation des suspension bactériennes	19
Figure 3 . schéma représentent la désinfection des graines de blé.....	19
Figure 4. schéma représentant la bactérisation des graines de blé.....	20
Figure5. Effet de l'interaction entre le facteur bactérisation et le facteur concentration du taux de germination du blé dur	26
Figure 6. Effets de l'interaction du facteur bactérisation et concentration de NaCl sur la longueur des racicules.....	27
Figure7. Effets de l'interaction du facteur bactérisation et concentration de NaCl sur la longueur des feuilles	28
Figure 8.. Effet du l'interaction du facteur bactérisation et le facteur concentration NaCl sur l'indice de vigueur.....	29
Figure 9. Effet de l'interaction du facteur bactérisation et le facteur de concentration du NaCl sur la longueur des racines.....	30
Figure 10. Effets de l'interaction du facteur bactérisation et concentration de NaCl sur la longueur des feuilles.....	31
Figure 11. Effets de l'interaction du facteur bactérisation et concentration de NaCl sur la poids frais des racines.....	32
Figure12. Effets de l'interaction du facteur bactérisation et concentration de NaCl sur la poids frais des feuilles.....	33
Figure13. Effets de l'interaction du facteur bactérisation et concentration de NaCl sur la poids sec des racines.....	34
Figure14. Effets de l'interaction du facteur bactérisation et concentration de NaCl sur la poids sec des feuilles.....	35

Liste des abréviations

Liste des abréviations

AIA :	Acide indole acétique
C :	Degré Celsius
H:	Heure
HCN :	Acide cyanidrique
ml:	Millilitre
P :	Pseudomonas
PGPR:	Plant Growth Promoting Rhizobacteria
%:	pourcentage
CHAO:	P fluorescens CHAO
N2:	Azote
Fe³⁺:	d'oxydes de fer
NaCl :	le chlorure de sodium
P12 :	Code de souche bactérienne
AZ24 :	Code de souche bactérienne
P429 :	Code de souche bactérienne
R2 :	Code de souche bactérienne
TNB :	témoin non bactérisé
TG :	Taux de germination
IV :	Indice de vigueur
T :	Traitement

Table des Matières

Résumé	
Dédicace	
Remerciement	
Liste des figures	
Liste des abréviations	
Introduction	01

Chapitre I: Synthèse bibliographique

I.1 <i>Pseudomonas</i> spp. : bactéries du sol.....	03
I.1.1 Caractéristiques générales	03
I.1.2 Interactions de <i>Pseudomonas</i> spp. fluorescents dans la rhizosphère.....	03
I.1.3 Les <i>Pseudomonas</i> PGPR.....	04
I.1.4 Mécanismes d'action des PGPR.....	05
I.1.4.1 Phytostimulation (effet direct).....	06
I.1.4.2 Phytoprotection (effet indirect)	10
I.2 Blé dur	11
I.2.1 Exigences Blé dur	11
I.2.3 Notion de stress chez les céréales	12
I.3 salinisation	13
I.3.1 Effet de la salinité	14
I.3.1.1 Sur la structure de sol.....	14
I.3.1.2 Effets d'un stress salin au niveau de la plante.....	15
I.3.1.3 Sur les bactéries du sol.....	17

Chapitre II : Matériel et Méthodes

II.1 Matériel biologique	18
II.1.1 Matériel végétal.....	18
II.1.2 Matériel bactériens.....	18
II.2 .Biostimulation de la germination de blé dur sous stress salin dans in vitro	18
II.2.1 Préparation de l'inoculum bactérien.....	18
II.2.2 Désinfection des graines.....	19
II.2.3 Bactérisation des graines	20
II.2.4 dispositif expérimental.....	20
II.2.5 les paramétré étudie.....	21
II.3 .Biostimulation de la croissance de blé dur sous stress salin dans en pots	22
II.3 .1 préparation du substrat	22
II.3 .2 Désinfection de la semence du blé.....	22
II.3.3 l'inoculum bactérien	22
II.3.4 Bactérisation du substrat	22
II.3.5 solution salin d'irrigation	23
II.3.6 dispositif expérimental.....	23
II.3.7 les paramétré étudie.....	24
II.3.7.1 mensuration sur racine.....	24
II.3.7.2 mensuration sur feuille.....	24
II .4 Analyse statistique.....	24

Chapitre III: Résultats et discussion

III .1 Résultats	25
III .1.1 les résultats relatifs à l'essai de lastimulation de la germination in vitro	25
III .1.1.1 effet sur le taux de germination	25
III .1.1.2 effet sur la longueur des radicules	26
III .1.1.3 effet sur la longueur des feuille	27

III .1.1.4 effet sur l'indice de vigueur.....	28
III .1.2 les résultats relatifs à l'effet de salinité et de la bactériation in vivo	29
III .1.2.1 l'effet Sur la longueur des racines in vivo.....	29
III .1.2.2 l'effet Sur la longueur des feuilles in vivo.....	30
III .1.2.3 poids frais des racines in vivo.....	31
III .1.2.4 poids frais des feuilles in vivo	32
III .1.2.5 poids sec des racines in vivo.....	33
III .1.2.6 poids sec des feuilles in vivo.....	34
III .3.2 Discussion	36
Conclusion	40
Référence bibliographique	

Introduction

Introduction

Les céréales constituent la première ressource alimentaire de l'humanité, et la principale source de protéine. Ils fournissent également une ressource privilégiée pour l'alimentation animale et de multiples applications industrielles. La presque totalité de la nutrition de la population mondiale est fournie par les aliments en grains dont 95 % sont produits par les principales cultures céréalières (Bonjean et Picard, 1991).

En Algérie, la superficie réservée à la céréaliculture est de 3,3 millions d'hectares qui représentent 90 % des terres cultivées. Si on se réfère aux chiffres de 1929, on constate que cette superficie n'a pas évolué. 40 % de cette surface sont destinés à la production du blé dur. Ces rendements, restent très bas puisqu'ils ne tournent qu'autour de 10 à 15Qx / ha, malgré les efforts fournis pour répondre aux besoins alimentaires de la population qui est toujours croissante. Cette faible production est souvent expliquée par l'influence des mauvaises conditions pédoclimatiques associées, notamment à la désertification, l'érosion, la pollution, les mauvaises pratiques agricoles et la salinisation des sols (Selmi , 2000).

Afin de réguler la croissance, le développement et la physiologie de la plante ainsi que leur rendement. La connaissance et la compréhension de ces mécanismes demeure d'une grande importance, en ce qui concerne la recherche fondamentale mais aussi en tant que voie d'amélioration des plantes. Effectivement, ils constituent une perspective intéressante pour les améliorateurs, généticiens et biotechnologues (Ainaoui, 2016), pour contribuer à la gestion de l'impact du changement climatique, et sur le plan pratique pour le développement d'espèces agricoles tolérantes à la sécheresse (Bousbaa, 2012). La plupart des travaux de recherche effectués sur le blé dur ont eu durant de nombreuses années pour objectif principal l'augmentation de la productivité. Ces dernières années, un intérêt plus croissant a été porté sur les études qui concernent l'amélioration génétique de la tolérance aux différents stress abiotique chez le blé (Hamla 2016). Au niveau de la rhizosphère les *Pseudomonas* peuvent avoir un effet bénéfique en mobilisant certains nutriments nécessaires à la croissance de la plante. Elles peuvent aussi la protéger contre des micro-organismes pathogènes en stimulant les mécanismes de résistance intrinsèques de la plante par la sécrétion des composés antibactériens et antifongiques et/ou par la compétition vis-à-vis de certains nutriments (Walsh et al. 2001), Les *Pseudomonas* spp sont capables de dégrader de

Introduction

nombreux composés organiques, tels des composés halogénés, des hydrocarbures aromatiques et des herbicides (Ramos, 2004). Elles peuvent ainsi être utilisées dans les processus de décontamination des sols « bio remédiation » (Stallwood et al., 2005). Diverses recherches, visant à développer les approches technologiques consistant à modifier le sol salé par des mesures de remise en état ou à l'adoption des approches biotiques par l'utilisation des cultures végétales tolérantes au sel, ne sont pas une démarche facile et économique pour une agriculture durable. L'utilisation des technologies microbiennes dans l'agriculture s'étend très rapidement par l'identification de nouvelles souches bactériennes efficaces dans l'amélioration de la croissance des plantes (PGPR, *Plant Growth Promoting Rhizobacteria*) (Cherif, 2014). Les rhizobactéries qui favorisent la croissance des plantes (PGPR), stimulent directement la croissance de celles-ci en augmentant le prélèvement des éléments nutritifs du sol, en induisant et produisant des régulateurs de croissance végétale et en activant les mécanismes de résistance induite chez les végétaux. Ils stimulent indirectement la croissance des végétaux par leur effet antagoniste sur la microflore qui leur est néfaste, en transformant les métabolites toxiques et en stimulant la nodulation des légumineuses par les rhizobia (Beauchamp, 1993).

Notre objectif est d'apporter un plus dans la recherche d'une solution aux problèmes de stress abiotique rencontrés dans nos régions, surtout au niveau du sol où le taux de sel est élevé, en exploitant des bactéries locales comme une alternative écologique et économique. La stratégie d'étude de ce travail consiste à mettre en évidence l'effet de quatre souches de *Pseudomonas* ssp fluorescentes rhizosphériques sur la germination et la croissance du blé dur (*Triticum durum*), pour ceci notre expérimentation porte sur deux parties :

- I. Explorer la capacité des souches dans la germination du blé dur (*Triticum durum*) *in vitro* ;
- II. Tester l'effet de ces souches sur la croissance du blé dur (*Triticum durum*) *in vivo* ;

***Pseudomonas* spp. (Bactéries du sol)**

Caractéristiques générales

Le genre *Pseudomonas* est découvert en 1894 par Migula, il appartient au phylum des Proteobacteria, classe des Gammaproteobacteria, famille des Pseudomonaceae, ordre des Pseudomonales (Moore *et al.*, 2006). Ce sont des bactéries ubiquistes particulièrement abondantes dans les sols, les eaux, et souvent pathogènes des animaux et des végétaux. Elles possèdent plusieurs caractéristiques intrinsèques qui les rendent particulièrement intéressantes pour une utilisation comme agents de lutte biologique. Ainsi leur capacité à coloniser les racines et à y maintenir une forte densité de population est remarquable (Haas et Keel, 2003).

Cette grande rhizocompétence vient de leur taux de croissance plus élevé que celui de la plupart des autres bactéries ; et de leur capacité à utiliser une gamme de substrats très large, souvent issus des exsudats racinaires, comme source d'azote ou de carbone. De plus, elles sont très faciles à isoler et à cultiver au laboratoire et se prêtent aisément aux manipulations génétiques (Moore *et al.*, 2006).

Ces bactéries sont des bacilles à Gram négatif de 0,5 à 1 µm de diamètre sur 1,5 à 5µm de long, mobiles et a sporulées (Bell-Perkins et Lynch, 2002). Ce sont aérobies obligatoires, à l'exception de certaines qui peuvent utiliser le NO₃⁻ comme accepteur d'électrons. Elles ont un métabolisme mésophile et chimio-organotrophe oxydatif (Moore *et al.*, 2006). Les différentes espèces de *Pseudomonas* sont divisées en cinq groupes selon leur ARNr. Le sous-groupe des *Pseudomonas* fluorescents, appartenant au premier groupe génomique, est certainement le plus étudié. Il se distingue par la production de pigments jaune-vert fluorescents (pyoverdine ou pseudobactine) dans des conditions de carence en fer. Les espèces appartiennent à ce groupe sont : *Pseudomonas aeruginosa*, espèce pathogène pour l'homme, *P. syringae*, espèce phytopathogène et *P. fluorescens*, *P. putida*, et *P. chlororaphis* (*Pseudomonas aerufaciens*) rassemblent des espèces saprophytes (Höfte et Altier, 2010).

Interactions de *Pseudomonas* spp. fluorescents dans la rhizosphère

Les *Pseudomonas* spp. fluorescents associés aux plantes incluent des souches pathogènes et des souches bénéfiques. Les souches influençant avantageusement l'hôte végétal sont désignées sous le terme « plant- probiotic fluorescent *Pseudomonas* spp. » (Höfte et Altier, 2010). Elles sont connues comme promotrices de la nutrition et la croissance des plantes par la

Synthèse bibliographique

solubilisation de minéraux comme le phosphore, par la production de sidérophores ou par la production de régulateurs de croissance comme les auxines (Lemanceau, 1992). Elles peuvent également augmenter le niveau de résistance des plantes aux maladies diverses que le piétin échaudage des céréales, les pourritures des tubercules de pomme de terre, les fusarioses des racines et du collet de la tomate (Bell-Perkins et Lynch, 2002). Différents mécanismes ont été avancés pour expliquer les effets bénéfiques de *Pseudomonas* spp. fluorescents. Ces bactéries s'attachent d'abord à la racine et sont donc distribuées de façon passive. Puis elles se multiplient et colonisent de façon active la rhizosphère (Lemanceau, 1992; Brimecombe *et al.*, 2008).

Les exsudats racinaires, et en particulier les sucres et les acides aminés, attirent les bactéries par chimiotactisme à la surface des racines. Ils stimulent notamment la mobilité flagellée des bactéries, ce qui permet à ces dernières de coloniser la rhizosphère (de Weert *et al.*, 2002). Chez *P. fluorescens* WCS417 les chaînes lipopolysaccharides latérales constituant l'antigène O des LPS bactériens jouent un rôle important dans la colonisation racinaire (Mercado-Blanco et Bakker, 2007). L'adsorption des bactéries à la racine résulte d'interactions physico-chimiques et biologiques entre les bactéries et la racine (Lemanceau, 1992). Cette seule colonisation peut entraîner une occupation de sites suffisantes pour empêcher la croissance des pathogènes (Kamilova *et al.*, 2005).

Les *Pseudomonas* PGPR (*Plant-GrowthPromoting Rhizobacteria*),

Les *Pseudomonas* font partie du phylum proteobacteria classe des Gamma proteobacteria, ordre des Pseudomonales. Ce sont des bacilles à coloration de Gram négative, droits et fin, aux extrémités arrondies d'une taille moyenne de 2 sur 0,5 μm . Ces bactéries sont mobiles grâce à une ciliature polaire monotriche ou lophotriche, elles sont capables d'utiliser de nombreux substrats hydrocarbonés comme sources de carbones et d'énergie. Les *Pseudomonas* ont une capacité élevée leurs hôtes, ce qui réduit les sites habitables pour les microorganismes pathogènes et par conséquent leur croissance (Benmati, 2014). Les PGPR du genre *Pseudomonas* sont considérés comme le groupe le plus important dans la promotion de

Synthèse bibliographique

la croissance et la lutte biologique contre les agents pathogènes des plantes (Saranraj *et al.*, 2014). Les *Pseudomonas* ont conféré plusieurs mécanismes primaires comme stratégies de biocontrôle, y compris la production d'antibiotiques et de métabolites secondaires, d'enzymes dégradant les parois cellulaires, ainsi que la production de cyanure d'hydrogène (HCN) et de sidérophores (Pankaj *et al.*, 2016). Dans des études récentes trois souches de *Pseudomonas* ont été identifiées comme PGPR ; *Pseudomonas fluorescens*, *P. putida* et *P. aeruginosa*. Les bactéries appartenant au groupe des *Pseudomonas* spp. fluorescents sont parmi les plus abondantes dans la rhizosphère. Dans certains cas, elles représentent plus de 60% de la microflore bactérienne totale du sol. Différentes espèces de *Pseudomonas* spp. fluorescentes ont été rapportés à la fois comme PGPR, et comme souches de biocontrôle des champignons phytopathogènes (Sushanto *et al.*, 2017).

Mécanismes d'action des PGPR (Plant-GrowthPromoting Rhizobacteria),

Les *Pseudomonas* ssp. fluorescents sont des rhizobactéries non symbiotiques qui occupent la rhizosphère (Kloepper et Schroth, 1978). Appartenant aux PGPR (Plant-GrowthPromoting Rhizobacteria), elles possèdent plusieurs caractéristiques intrinsèques qui les rendent particulièrement intéressantes pour une utilisation comme agents de lutte biologique. Ainsi leur capacité à coloniser les racines et à y maintenir une forte densité de population est remarquable (Haas et Keel, 2003)

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) (figure 1). Ces capacités antagonistes de PGPR, sont dues aux mécanismes directs et indirects (Mezaache, 2012)

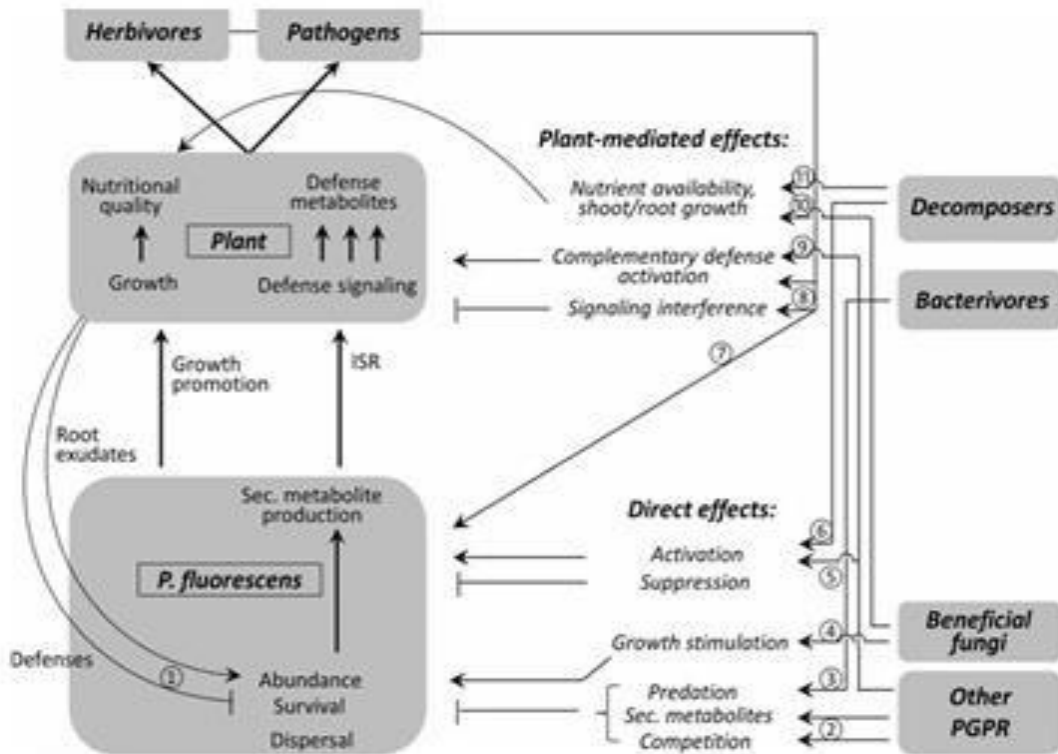


Figure 1: schéma simplifié représentant les effets directs et indirectes des rhizoéobactéries : exemple illustré des *Pseudomonas* spp. fluorescents (Hol *et al.*, 2013)

I.1.4 .1 Phytostimulation (effet direct)

I.1.4 .1.1 Fixation d'azote

L'azote (N) est le nutriment le plus vital pour la croissance et la productivité des plantes. Bien qu'il y ait environ 78 % de N₂ dans l'atmosphère, il n'est pas disponible pour les plantes en croissance (Muness, 2013). Le processus de la fixation biologique d'azote par des interactions symbiotique ou non symbiotique entre le microbe et les plantes relève uniquement du domaine procaryotes grâce à la nitrogénase, une enzyme catalysant la réduction de l'azote atmosphérique en ammoniac (Rabhi, 2011 ; Sushanto *et al.*, 2017).

Les bactéries fixatrices d'azote associées à la rhizosphère sont de plus en plus utilisées dans les cultures non légumineuses comme la betterave sucrière, la canne à sucre, le riz, le maïs, et le blé. Parmi les bactéries non-symbiotiques fixatrices de l'azote les plus importantes appartiennent à plusieurs bactéries ; *Azoarcus* sp., *Gluconacetobacter diazotrophicus*, *Herbaspirillum* sp., *Azotobacter* sp., *Achromobacter*, *Acetobacter*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Azospirillum*, *Azomonas*, *Bacillus*, *Beijerinckia*, *Clostridium*, *Corynebacterium*, *Dexia*,

Enterobacter, Klebsiella, Pseudomonas Rhodospirillum, Rhodopseudomonas et Xanthobacter (Cherif, 2014)

I.1.4 .1.2 Solubilisation de phosphate

Le phosphore (P), deuxième élément nutritif important pour la croissance des plantes après l'azote, est abondamment disponible dans les sols sous forme inorganique et organique. Le P insoluble est présent sous la forme d'un minéral inorganique tel que l'apatite ou sous forme de plusieurs formes organiques comprenant l'inositol phosphate, les phosphomonesters et les phosphotriesters. Pour surmonter la carence en P dans les sols, il existe des applications fréquentes d'engrais phosphatés dans les champs agricoles (Munees, 2013). Le principal mécanisme de solubilisation des phosphates est la production d'acides organiques. L'acide gluconique et l'acide-2-céto gluconique sont les plus fréquemment rencontrés. L'acide glycolique, l'acide oxalique, l'acide malonique et l'acide succinique, ont également été identifiés. Certaines souches sont capables de produire en plus ces derniers d'acides lactique, l'acide isovalérique, l'acide isobutyrique et l'acide acétique. La libération de ces acides mobilisant le phosphore par l'intermédiaire d'interactions ioniques avec les cations du sel de phosphate conduit à l'acidification des cellules microbiennes et de leur environnement et par conséquent la libération du phosphate sous forme ionique. La libération des groupements phosphates liés à la matière organique est assurée par l'action des phosphatases. Parmi les communautés bactériennes du sol, les genres ; *Bacillus, Enterobacter, Erwinia et Pseudomonas spp.* sont les plus performantes dans la solubilisation des phosphates (Cherif, 2014). Les *Pseudomonas spp.* libèrent dans le sol l'enzyme phytase. Cette enzyme est responsable de la libération du phosphate, tel que l'inositol hexaphosphate. Dans des essais pratiqués au Québec en champ ouvert, l'inoculation des *Pseudomonas* a généré une augmentation du rendement du champ de maïs étudié. Dans un autre essai, cette même rhizobactérie a permis une augmentation du rendement des cultures de laitue de 18 % (Benmati, 2014).

I.1.4 .1.3 Production de sidérophores

Les sidérophores sont de petites molécules organiques produites par des microorganismes dans des conditions limitant le fer pour améliorer la capacité d'absorption. Les recherches sur les sidérophores ont attiré beaucoup d'attention au cours des 10 dernières années en raison de leurs caractéristiques uniques d'extraction des ions de fer. Les *Pseudomonas*

Synthèse bibliographique

sp., En tant que PGPR, utilisent les sidérophores produits par d'autres microbes présents dans la rhizosphère pour satisfaire leurs besoins en ions. Plus spécifiquement, *Pseudomonas putida* utilise des sidérophores hétérologues produits par d'autres microorganismes pour améliorer le niveau de fer disponible dans l'habitat naturel. Un sidérophore puissant joue un rôle important dans l'absorption de fer par les plantes en présence d'autres métaux, tels que le Nickel et le Cadmium. Comme les PGPR peuvent produire des sidérophores, ils constituent un atout majeur pour fournir à la plante la quantité de fer requise (Sushanto et al., 2018). Les plantes assimilent le fer des sidérophores bactériens au moyen de différents mécanismes, par exemple, l'absorption directe des complexes sidérophore-Fer, ou par une réaction d'échange de ligands. De nombreuses études sur la stimulation de la croissance des plantes vis-à-vis de l'absorption de Fer médiée par les sidérophores à la suite d'inoculations de rhizobactéries produisant des sidérophores ont été rapportées. Crowley et Kraemer (2007) ont mis en évidence un système de transport du Fer-sidérophore dans les plants d'avoine et déduit que les sidérophores produits par les microorganismes rhizosphériques fournissent du fer à l'avoine, qui possède des mécanismes d'utilisation des complexes fer-sidérophore. De même, le complexe Fer-pyoverdine synthétisé par *Pseudomonas fluorescens* a été absorbé par *Arabidopsis thaliana*, ce qui a entraîné une augmentation du fer à l'intérieur des tissus végétaux et une amélioration de la croissance des plantes. Récemment, (Sharma et al. 2003) ont évalué le rôle de la souche de *Pseudomonas* productrice de sidérophores PGPR sur la nutrition du fer de *Vigna rayonnee*, après 45 jours, les plantes ont montré une diminution des symptômes chlorotiques et la teneur en fer, en chlorophylle (a) et en chlorophylle (b) a augmenté dans les plantes inoculées avec la souche PGPR comparativement au témoin (Munees Mulugeta, 2014).

.1.4 Production de phytohormones

Il existe des régulateurs de la croissance végétale telle que les auxines, les gibbérellines, les cytokinines, l'éthylène et l'acide abscissique. L'acide indole-3-acétique est la phytohormone la plus répandue. L'AIA joue un rôle très important dans l'élongation des racines et dans la prolifération des poils absorbants. Il est produit par un grand nombre des bactéries tels *Azospirillum brasilense*, *Pseudomonas*, *Xantomonas*, *Rhizobium*, *Enterobacter cloacae*, *Aeromonas veronii*, *Alcaligenes piechaudii*, *Rhizobium leguminosarum*, *Bradyrhizobium spp.*, *Agrobacterium spp.*, et *Comamonas acidovorans spp.* Les cytokinines et les gibbérellines sont impliquées dans la modification de la morphologie des plantes et dans la stimulation et le développement de la partie aérienne (Rabhi. 2012).

Synthèse bibliographique

a. Acide Indole-3-acétique (AIA)

Cette phytohormone est impliquée dans l'initiation de la division cellulaire au niveau des racines, et de leurs élargissements. Communément produite par les rhizobactéries.

Les rhizobactéries produisant l'AIA sont connues pour leurs capacités à augmenter la croissance et la longueur des racines. Cet effet résulte en une surface racinaire plus grande, et une accessibilité pour plus de nutriments pour la plante. Patten et Glick (2002) ont rapporté le rôle de l'AIA produit par *Pseudomonas putida*, chez la plante hôte, dans le développement de son système racinaire (Mezzache, 2012).

L'AIA bactérienne peut desserrer les parois des cellules végétales et, par conséquent, favorise une exsudation croissante des racines qui fournit des nutriments supplémentaires pour soutenir la croissance des bactéries de la rhizosphère. Puisque les communautés microbiennes endophytes proviennent du sol et de la rhizosphère, l'AIA bactérienne peut attirer plus de bactéries à la rhizosphère en augmentant la quantité d'exsudation racinaire. Étant donné que l'AIA bactérienne stimule le développement du système racinaire de la plante hôte, les isolats producteurs d'AIA peuvent améliorer l'aptitude des interactions plante-microbe (Hassan *et al.*, 2015)

b. Cytokinines

Les cytokinines forment une classe de phytohormones qui stimulent la division cellulaire, l'élargissement et le développement des tissus. Ce sont des signaux impliqués dans la médiation du stress environnemental des racines en vers les parties supérieures de la plante (Mezzache, 2012).

c. L'éthylène

L'éthylène est sous forme gazeuse, il est connu pour être lié aux des blessures, parce que sa production dans la plante peut être induite par n'importe quel perturbation physique ou chimique des tissus (Salisbury, 1994). Parmi ses nombreux effets sur la croissance et le développement de la plante, la production d'éthylène peut causer l'inhibition de la croissance des racines. (Glick et al. 1998) ont émis une théorie selon laquelle le mode d'action de certains PGPR serait par l'intermédiaire d'une AAC-désaminase. Cette enzyme clive l'AAC (Amino-cyclopropane-1-carboxylate) précurseur immédiat de l'éthylène. L'AAC-désaminase diminuerait la production de l'éthylène au niveau des racines de la plante hôte et résulterait en leurs allongements. Les *Pseudomonas* spp. fluorescents sont des producteurs d'AAC-

désaminase (Glick et al., 1994). La transformation des *Pseudomonas* spp. par des gènes codant cette enzyme, permet celles-ci de croître sur un milieu dont la seule source de carbone et d'azote est le AAC, et de stimuler l'élongation des racines. Cette stimulation de la croissance est aussi exprimée dans des situations de stress, tels que les inondations, ou encore dans les sols contaminés par les métaux lourds (Mezzache, 2012).

I.1.4 .2 Phytoprotection (effet indirect)

Compétition pour l'espace et les nutriments 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).

Les PGPR sont présent sur les racines en nombre suffisant pour avoir un effet bénéfique sur les plantes et pour être capable d'instaurer une compétition pour les nutriments dans la rhizosphère (Haas et Defago, 2005). Outre la vitesse de croissance intrinsèque et les autres propriétés comme la mobilité (présence des flagelles), le chimiotactisme, la capacité de synthétiser des vitamines et des macromolécules et l'utilisation des composés excrétés par les racines renforçant la colonisation racinaire (Lugtenberg, Kamilova, 2009). Un cas particulier de compétition pour les nutriments repose sur la compétition pour le fer.

Les microorganismes ont la capacité de synthétiser des sidérophores. Ces composées ont une grande affinité pour le Fe³⁺. En s'appropriant les ions ferriques présents dans la rhizosphère, ils les rendent ainsi non disponibles pour les champignons pathogènes (Adam, 2008).

I.1.4 .2.1 Antibiose

L'antibiose consiste l'inhibition directe de la croissance du pathogène via la production de métabolites aux propriétés antifongiques et/ou antibactériens. Certaines souches de PGPR ont la capacité à dégrader les parois cellulaires fongiques à travers la production d'enzymes hydrolytiques tels β -1,3-gluconase, exo et endopolygalacturonases, pectinolyases, cellulases et chitinases (Rabhi, 2011). Chez *Pseudomonas*, d'autres molécules antifongiques comme le HCN, la viscosamide, la pyoluteorine, le 2,4-diacetylphloroglucinol (DAPG), la pyrrolnitrine, les phenazines et les butyrolactones sont impliquées dans le bio contrôle. Une étude récente a démontré que l'espèce de la plante hôte a une influence significative sur la dynamique, la composition et l'activité des espèces antagonistes indigènes spécifiques de *Pseudomonas* spp. (Adam, 2008).

Blé dur (*Triticum durum*)

L'une des principales ressources alimentaires de l'humanité. Cette espèce est classée comme la deuxième plus importante céréale du genre *Triticum* après le blé tendre, c'est par rapport à la production commerciale et l'alimentation humaine ; la famille des blés comprend 600 genres et plus de 5000 espèces (Feillet, 2000). Selon les archéologues, la Palestine, la Syrie, la Turquie, l'Iran et l'Iraq (le croissant fertile) sont la région dont l'homme lance la culture du blé dur entre 9000 et 7000 BC (Dubcovsky et Dvorak, 2007) Ainsi, en Bretagne, on a trouvé des grains datant d'environ 5.000 ans avant Jésus-Christ (Henry *et al.*, 2000).

Le phénomène de la polyploïdisation est le responsable de différentes transformations qui se présentent au niveau génétique suivant des événements successifs qui interviennent après des croisements interspécifiques entre des espèces ancestrales diploïdes *Triticum durum* a une garniture chromosomique AB (Mckey, 1968), c'est une espèce allotétraploïde (AABB = $2n=4x=28$).

Exigences Blé dur

Le sol

Une terre optimale pour une bonne culture des blés et des orges, c'est une terre fine, limono-argileuse, qui assurera aux racines fasciculées du blé une grande surface de contact, et profonde et d'une texture équilibrée. Soltner, (2005) détermine trois caractéristiques pour une bonne terre à blés :

- Une texturant une bonne nutrition.
- Une structure stable, résiste à la dégradation par les pluies d'hiver. Le blé n'y souffrira pas d'asphyxie et la nitrification sera bonne au printemps.
- Une bonne profondeur, et une richesse suffisante en colloïdes, afin d'assurer la bonne nutrition nécessaire aux gros rendements.

Les besoins nutritifs Les besoins du blé en éléments fertilisants sont compris entre 2.8 et 3.2 kg d'azote, 1 et 1.6kg de P₂O₅ ; 3 à 4.8kg de K₂O par quintal de production (grain+ paille) (Benaouda et Karrou, 1994 in Boulal *et al.*, 2007)

L'eau

Synthèse bibliographique

L'eau est un élément essentiel dans la croissance des céréales dès la germination, ces besoins s'approchent d'environ 550mm en moyenne pendant son cycle évolutif ; le tallage est la phase dont la plante favorise une faible quantité d'eau. De plus, un sol très humide entrave la bonne pénétration et l'installation du système racinaire en profondeur. Par ailleurs, des besoins considérables en eau sont nécessaires pendant la période de montaison jusqu'à la floraison ou ils peuvent s'évaluer à 180mm (entre Mars et Mai). Un des mécanismes d'adaptation à la sécheresse (fortes températures) se manifeste après la floraison (Moule.1980).

L'éclairement

Le blé d'hiver est le type de plante de jours longs, sa floraison est en effet favorisée par l'allongement du jour (Soltner, 2007) ; 12 à 14 heures selon l'espèce et la variété sont nécessaires pour permettre le démarrage de la phase reproductrice. On désigne par photopériode, l'influence de la durée d'éclairement journalière sur le développement de la plante. Le blé et l'orge sont adaptés aux jours longs (donc la floraison s'effectue plus rapidement en jours longs)

La température

Selon Ruel (1996), la physiologie du blé a une relation directe avec la température dont la vitesse de son développement est proportionnelle à la température. La température journalière intervient durant tout le cycle de développement des céréales et surtout pour l'accélération de la germination, et la formation de la matière sèche pendant la phase montaison. Alors qu'elle a des effets néfastes sur l'évolution des talles vers l'épiaison. Les excès des vents chauds en phase de maturation (remplissage du grain) provoquent l'apparition de l'échaudage qui affecte la réduction de rendement qualitatif et quantitatif. (Clément et al.,1971) Le traitement des graines de variétés non alternatives aux basses températures pendant 30 jours de 0 à 3°C au début de la germination, la technique de vernalisation, permet à l'espèce d'épier la même année de semis (Soltner, 2005)

I.2.3 Notion de stress chez les céréales

Le stress est l'ensemble des perturbations physiologiques ou pathologiques provoqués dans l'organisme par des agents biotiques (parasite, pathogène) ou abiotique sa (salinité,

Synthèse bibliographique

sècheresse, température, pollution. etc. (Maarouf et Raynaud, 2007). Parmi les contraintes environnementales, on peut distinguer suivant leur nature plusieurs types de stress. Les stress abiotiques induisent des changements physiologiques (Langridge et *al.*, 2006) et des changements dans les processus cellulaires (Chinnusamy et *al.*, 2006 ; Talame et *al.*, 2007). Les stress peuvent également affecter le fonctionnement de la plante en perturbant les flux ioniques (Langridge et *al.*, 2006) ou en altérant les parois ou membranes cellulaires (Zhu, 2001 ; Wang et *al.*, 2003). Les tissus doivent alors mettre en place plusieurs mécanismes d'adaptation afin de limiter les dégâts engendrés par le stress (Verslues et *al.*, 2006). Le concept de stress du grain En effet, le stress signifie des écarts dans le développement physique et le fonctionnement normal. Physiologie végétale, elle est captée au niveau cellulaire puis transmise dans toute la plante. Ces changements qui en résultent dans l'expression des gènes altèrent la croissance et développement, et affecte la capacité des plantes à se reproduire, entraînant Dégâts végétaux (benkoli et Bouzeghaia, 2016). Tout stress dans la nature, que ce soit la chaleur, l'eau ou l'eau salée, provoque Changements dans l'état physique de la membrane cellulaire. Intégrité du canal La membrane est perturbée, ce qui entraîne un décroissement et une fuite de soluté. Assemblage de protéines respiratoires, photosystèmes et respiratoires le métabolisme est perturbé (Cattivelli et *al.*, 2008).

Salinisation

La salinisation est le processus par lequel les sels minéraux solubles s'accumulent dans le sol niveaux nocifs pour les plantes. Ces sels dissous sont constitués d'un mélange de cations (sodium $+$, K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) et des anions (Cl^- , SO_4^{2-} , gaz carbonique $^{2-}$, HCO_3^-) (Tan Ji, 2005). La couche est Il est considéré comme salin lorsque sa conductivité électrique (CE) est supérieure à 4 siemens/ Mètres (dS/m). Cette valeur correspond à 40 mM de NaCl (2,4 g/l) (Hillel, 2005).

Ce La salinisation a été identifiée comme la principale cause de la dégradation des terres, Surtout dans les régions arides et semi-arides. C'est peut-être dû à Processus naturels, salinisation primaire, ou induits par l'activité humaine, Salinisation secondaire (Ghassemi et *al.*, 1995). Le premier est le résultat de l'accumulation progressive d'ions nécessaires à la formation Sels solubles. Ces ions sont libérés après des modifications de certaines roches sédimentaires, Volcans et fluides hydrothermaux (Loyer, 1991). Ils peuvent aussi partir d'Ancienne accumulation de sel (Munns, 2009). Intrusion de la mer La côte est une autre source. Les sels

Synthèse bibliographique

libérés sont transportés à travers les eaux souterraines. Leur S'accumule dans des couches superficielles basses avec une forte évaporation (Pitmani et Lauchli ,2004)

La seconde est le résultat de l'accumulation de sel due à l'eau supplémentaire. Par l'activité humaine. La quantité d'eau ajoutée au fil du temps peut causer des sédiments Accumulation de sel dans les sols (Ghassemi et al., 1995). Terres agricoles irriguées Salinisation de nombreux sols, en particulier dans les régions arides et semi-arides (Lunes, 2009). Ce type de salinisation peut également être causé par la montée des nappes phréatiques. Diffusion des nappes phréatiques, engrais, construction de barrages, eaux usées agricoles ou urbaines, pose de serre, etc (Loyer, 1991).

La présence de ces sels et l'augmentation conséquente de la pression osmotique La dissolution des sols, conduisant à la formation de paysages spécifiques, est soit Végétation naturelle spéciale appelée halophytes (chotts), c'est-à-dire absence totale Végétation (sebkhas), en fonction de la salinité atteinte (Loyer, 1991)

Effet de la salinité

Sur la structure de sol

La structure du sol peut être définie comme le regroupement de particules primaires du sol dans les agrégats. Ces derniers sont séparés entre eux par des pores dans lesquels le gaz et le liquide peuvent circuler. La structure du sol a une importance considérable sur son fonctionnement. D'une part, elle détermine la pénétration des racines dans le sol, d'autre part, elle agit sur les déplacements d'eau, d'éléments nutritifs de la masse du sol vers les racines (Lavelle et Spain, 2001). L'augmentation de la quantité de sodium dans un sol entraîne la destruction de sa structure. Un excès de sodium favorise la dispersion des colloïdes minéraux et par conséquent la réduction de la structure poreuse du sol. La salinisation augmente ainsi l'imperméabilité des couches profondes du sol ce qui empêche l'aération et la pénétration de l'eau nécessaire pour une croissance normale des plantes (Ghassemi *et al.*, 1995).(Lavelle et Spain, 2001) L'augmentation de la quantité de sodium dans un sol entraîne la destruction de sa structure. Un excès de sodium favorise la dispersion des colloïdes minéraux et par conséquent la réduction de la structure poreuse du sol. La salinisation augmente ainsi l'imperméabilité des couches profondes du sol ce qui empêche l'aération et la pénétration de l'eau nécessaire pour une croissance normale des plantes (Ghassemi *et al.*, 1995).

Effets d'un stress salin au niveau de la plante

La salinité du sol est un facteur environnemental important qui affecte la croissance des plantes et la productivité agricole. Le problème de la salinité a été étudié sur le plan agronomique (Zekri, 1993 ; Ruiz et al., 1997), biochimique (Cerezo et al., 1997) et moléculaire (Gueta-Dahan et al., 1997). Le sel entraîne une réduction de la quantité de l'eau disponible dans le sol (piégeage des molécules d'eau par les ions).

Les niveaux de tolérance à la salinité sont très variables entre plantes (Rabie et Almadini, 2005). En effet, la salinité entraîne une réduction de la capacité des plantes à absorber l'eau, une chute des potentiels hydrique foliaire et osmotique déshydratation cellulaire (Hamdia et Shaddad, 2010 ; Joseph et Jini, 2011). Elle provoque aussi un déséquilibre de la balance ionique (accumulation des ions Cl⁻) qui induira une toxicité importante dans le cytoplasme (Joseph et Jini, 2011), la réduction de flux d'assimilats vers les tissus méristématiques en croissance et une diminution des matières fraîche et sèche au niveau des feuilles, mais aussi au niveau des tiges et des racines (Hernandez et al., 2000). Une réduction des teneurs en chlorophylle (Meloni et al., 2003) suite à l'augmentation des teneurs des chlorures à des doses toxiques aux niveaux des vieilles feuilles, associée à l'augmentation de la résistance stomatique, va entraîner une diminution de l'activité photosynthétique et sera à l'origine de la réduction de la croissance (Munns, 2002). Cette réduction de la teneur en chlorophylle ne peut être perçue qu'à partir de vingt jours de stress salin. L'action du sel dans la plante commence par des accumulations des ions au niveau des différents compartiments à des doses toxiques avant d'affecter le fonctionnement de la plante. Pour la plus part des plantes, les ions Na⁺ et Cl⁻ sont exclus par les racines au fur et à mesure que l'eau est absorbé du sol. La remontée du sel dans les parties aériennes de la plante peut être à l'origine de la réduction de l'ouverture stomatique. Cependant, il a été observé que l'activité photosynthétique par unité de surface foliaire peut rester inchangée même en cas de fermeture stomatique (James *et al.*, 2006).

Ce paradoxe peut être expliqué par des changements au niveau de la taille des cellules qui se rétrécit ainsi que par une augmentation de la densité des chloroplastes. Si des quantités de Na⁺ ou Cl⁻ deviennent excessives, cela va entraîner une réduction de la surface foliaire et par la suite une limitation des flux de carbone vers les méristèmes et les zones de croissance (Munns, 2010). Cela est à l'origine de jaunissements, des nécroses et de l'apparition de points de brûlure sur les feuilles et finalement la chute foliaire. (Rochdi et al. 2004) ont observé que l'effet inhibiteur de NaCl sur la croissance ne passe pas obligatoirement par une perturbation de leur alimentation en eau. Par ailleurs, la toxicité du NaCl observée chez le *Citrus aurantium*

Synthèse bibliographique

est fréquemment associée à des teneurs foliaires élevées en Cl⁻ (Walker *et al.*, 1984) mais elle résulte aussi de l'accumulation excessive de Na⁺ (Fernandez-Ballester *et al.*, 1998).

Or, depuis longtemps, il est apparu que les espèces d'agrumes les moins tolérantes sont celles qui accumulent le plus de Cl⁻ dans leurs feuilles (Chapman, 1968). De même, Greenway *et al.* (1980) ont montré que les ions chlorures sont beaucoup plus vite absorbés par les plantes que les ions sodium. L'analyse minérale a aussi révélée que l'accumulation du chlorure varie en fonction de l'organe. L'intensité des dégâts foliaires, l'abscission et la photosynthèse chez les porte-greffes sont associées aux teneurs accumulées en Cl⁻ (Banuls *et al.*, 1990) et aucune corrélation statistique ni de relation simple ne relie la teneur foliaire en sodium et les effets négatifs de la salinité (Romero-Aranda *et al.*, 1998)

Les grandes concentrations en sel dissous dans la solution du sol ont des effets délétères sur les végétaux. Certains sont adaptés à ces concentrations par différents mécanismes physiologiques, ce sont les halophytes. Elles se développent à des teneurs de sels supérieures à 300 mM. Par contre les glycophytes y sont sensibles, leur croissance est fortement inhibée avec des concentrations de sel entre 100 et 200 mM (Zhu, 2007). Les conséquences d'un stress salin sur les végétaux peuvent résulter de trois types d'effets :

a. Le stress hydrique

Une forte concentration saline dans le sol provoque une importante diminution de la disponibilité en eau. Cela nécessite un ajustement osmotique adapté, afin que le potentiel hydrique cellulaire demeure inférieur à celui du milieu extracellulaire. Lorsque l'ajustement osmotique n'est pas suffisant, l'eau a tendance à quitter les cellules ce qui provoque un déficit hydrique et une perte de turgescence (Levigneron *et al.*, 1995 ; Munns, 2009).

b. Le stress nutritionnel

Des concentrations salines élevées dans le milieu provoquent une altération de la nutrition minérale. L'accumulation des ions de Na⁺ dans la plante limite l'absorption de cations indispensables tels que K⁺ et Ca²⁺. Il y aurait une compétition entre Na⁺ et Ca²⁺ pour les mêmes sites de fixation Apo plasmiques. La présence des Cl⁻ inhibe l'absorption des NO₃⁻. Ce déséquilibre nutritionnel est une cause possible de la réduction de croissance en présence du sel lorsque des ions essentiels comme K⁺, Ca²⁺ ou NO₃⁻ deviennent limitant (Levigneron *et al.*, 1995 ; Zhu, 2007).

Sur les bactéries du sol

Dans leur habitat naturel, les micro-organismes sont fréquemment exposés à des variations d'osmotique du milieu environnant. En effet, la salinité élevée du sol peut interférer avec la croissance et l'activité des bactéries. Une diminution de celle-ci dans les sols salins conduit à une accumulation de la matière organique non dégradée, ce qui agit négativement sur la disponibilité des nutriments nécessaires à la croissance végétale (Zahran, 1997).

Une augmentation brusque de l'osmolarité du sol modifie la disponibilité de l'eau à la cellule. L'abaissement de l'activité de l'eau extérieure a pour conséquence de modifier le volume cellulaire. Elle modifie aussi la pression de turgescence qui constitue la force mécanique nécessaire à l'élongation de la cellule durant la croissance (Csonka, 1989).

La membrane cytoplasmique des bactéries est perméable à l'eau mais constitue une barrière efficace vis-à-vis des solutés du milieu et des métabolites présents dans le cytoplasme (Csonka, 1989). La circulation des molécules d'eau à travers cette bicouche lipidique est accélérée par la présence de canaux dits aqueux (Kempf et Bremer, 1998). Si les bactéries n'ont aucun moyen de répondre ou de s'adapter à l'augmentation de la force ionique (Na^+ , Cl^-) dans le sol, le flux rapide de l'eau vers l'extérieur conduira à la plasmolyse cellulaire (Le Rudulier *et al.*, 2002). Une plasmolyse subite aboutit à l'inhibition de certaines fonctions cellulaires comme l'adsorption de nutriments, la réplication de l'ADN ou la biosynthèse de macromolécules (Lucht et Bremer, 1994)

Matériel et Méthodes

Le présent travail a été réalisé aux laboratoires du département des sciences Agronomiques, université d'Amar Telidji, Laghouat L'expérimentation consiste à mettre en évidence l'effet des rhizobactéries de *Pseudomonas* spp. fluorescents, sur la germination et la croissance des graines du blé dur (*Triticum durum*) sous stress abiotiques salin. L'expérimentation a été conduite en deux essais, le premier consiste à étudier l'effet de certains isolats bactériens de *Pseudomonas* spp. fluorescents sur biostimulation de la germination du blé dur sous stress salin *in vitro*, le deuxième essai vise la phytostimulation *in vivo*, il a été conduit dans du sol en pot irrigué par l'eau salé.

Matériel biologique

Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé dans le présent travail est constitué des graines de blé dur (*Triticum durum*), variété Vitron, récolte de la campagne agricole 2021-2022, ont été fournis par l'Office Algérien Interprofessionnel des Céréales Laghouat Algérie(OAIC).

Matériel bactérien

Dans cette étude nous avons utilisé quatre souches de *Pseudomonas* spp. fluorescents (AZ24, P12, P429, et R2) qui ont été isolées et identifier dans les laboratoires des sciences agronomiques université Amar Telidji Laghouat. Ces souches ont été réactivées sur le milieu de culture King B et incubées à $28 \pm 2^\circ\text{C}$.

Biostimulation de la germination du blé dur sous stress salin dans *in vitro*

Préparation de l'inoculum bactérien

Pour la préparation de la suspension bactérienne, nous avons raclé la crème bactérienne des cultures jeune âge de 24h, cette crème bactérienne été mis dans l'eau distillé stérile, nous avons ajusté la concentration de cette suspension à 10^8 UFC/ml, en utilisant le spectrophotomètre à une longueur d'onde de 600 nm (Figure2).

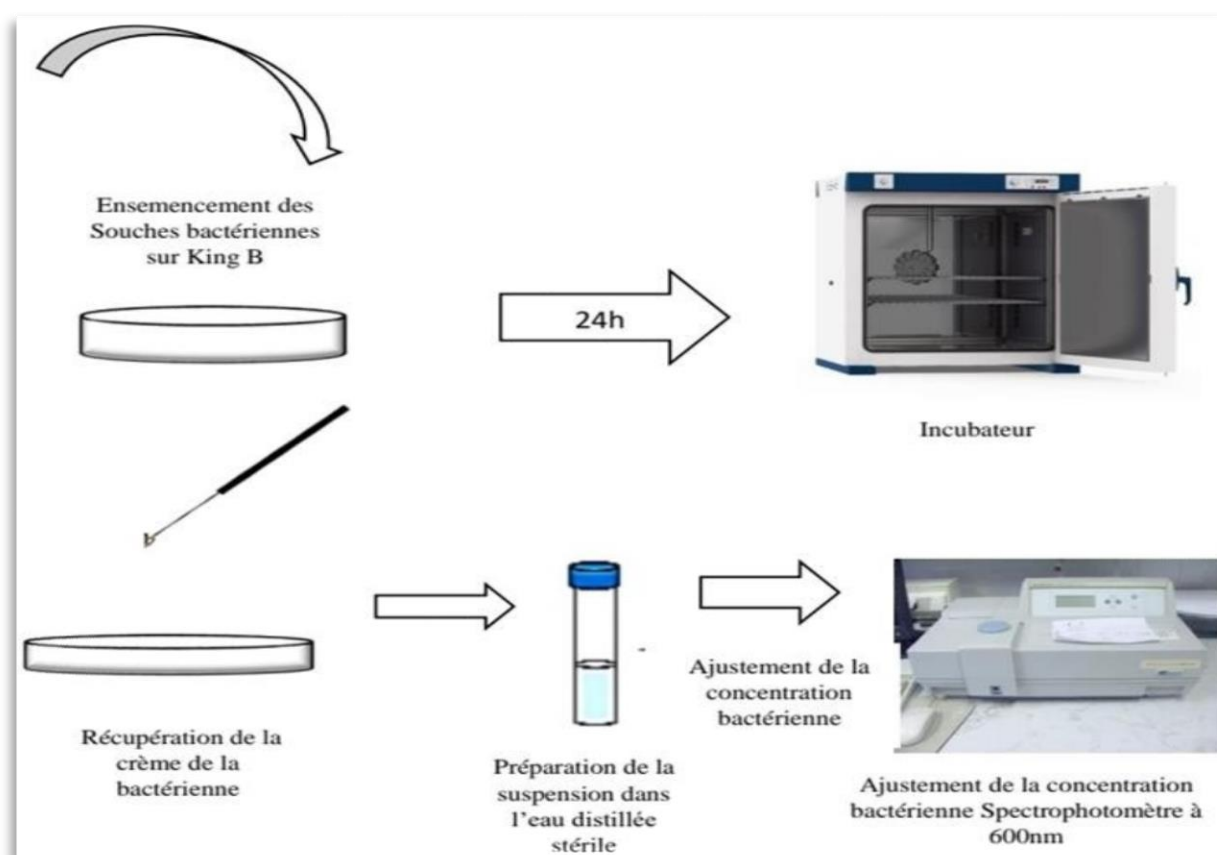


Figure 2. Schéma présentant la préparation des suspensions bactériennes

Désinfection des graines

La désinfection a été réalisée par le trempage des graines de blé dans une solution de $HgCl_2$ (0.1%) pendant 1min, puis rincées cinq fois à l'eau distillée stérile pendant 2mn Chacun, une fois le rinçage est effectué les graines, ont été laissés sur un papier absorbant Stérile pour le séchage des graines figure (10)

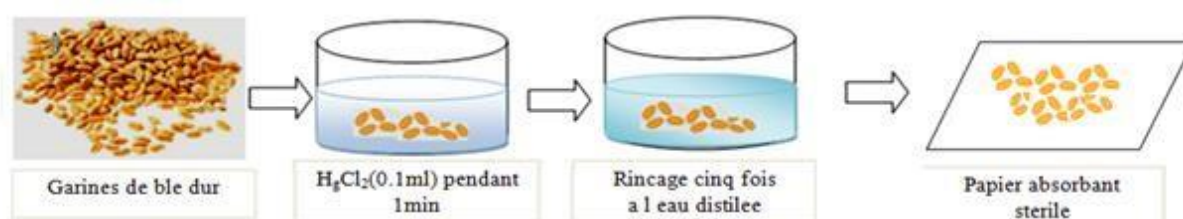


Figure 3. Schéma représentant la désinfection des graines de blé

Bactérisation des graines

Après la désinfection des grains, elles ont été trempées dans les suspensions bactériennes respective (P12, AZ24, R2 et P429.), le témoin non bactéries a été trempé dans l'eau distillée stérile, ces préparations sont été laissées pendant 6 h à une température de 24°C.

Après 6 h, les grains ont été mises sur papier absorbant stérile pour les sécher, puis repiqués dans des boîtes en plastique d'une capacité de 500ml contenant 50ml du milieu (eau - agar) additionnées avec une concentration respective de 0 ; 4 ; 6 ; 8 et 10 g/l de NaCl., à raison de 50 grains par boîte (Figure4).

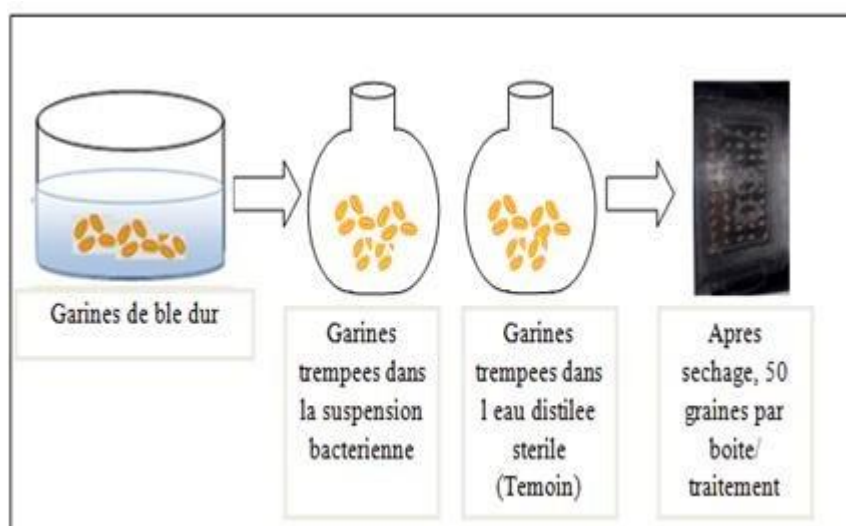


Figure 4: schéma représentant la bactérisation des graines de blé

Dispositif expérimental

Nous avons opté pour une randomisation totale à deux facteurs étudiés et à trois répétitions pour mettre en évidence l'effet des *Pseudomonas* spp. fluorescents sur la germination du blé dur, variété Vitron, sous stress salin,

- ✓ Facteur 1 : représente la bactérisation avec Cinq niveaux soit les souches bactériennes la souche P12,R2, P429, AZ24 et le témoin non bactérisé (TNB).
- ✓ Facteur 2:représente la concentration du facteur stressant soit le NaCl avec 5 niveaux pour le stress salin 0 ; 4 ; 6 ; 8 et 10 g/l de NaCl.

Matériel et Méthodes

Nous avons 25 traitements qui sont ;

- T1, T2, T3. T4, T5 : correspond à une bactérisation par P12 et la concentration respective de 0 ;4 ; 6 ;8 et 10g/l de NaCl.
- T6, T7 ; T8. T9, T10 : correspond à une bactérisation par R2 et la concentration respective de 0 ;4 ; 6 ;8 et 10g/l de NaCl.
- T11, T12, T13. T14, T15 : correspond à une bactérisation par AZ24 et la concentration respective de 0 ;4 ; 6 ;8 et 10g/l de NaCl.
- T16, T17, T18. T19, T20 : correspond à une bactérisation par P429 et la concentration respective de 0 ;4 ; 6 ;8 et 10g/l de NaCl.
- T21, T22, T23.T24, T25 : correspond au témoin non bactérisé et la concentration respective de 0 ;4 ; 6 ;8 et 10g/l de NaCl.

Paramètres étudiés

Nous avons réalisé ce test pour déterminer l'effet des souches rhizobactériennes sous stress salin. L'évaluation de la stimulation de la germination des graines a été effectuée sur les paramètres suivants :

1. Taux de germination (TG)

Ce paramètre est exprimé par le rapport entre le nombre de graines germées et le nombre total de graines testées et cela en notant les graines germées après 15 jours de suivi, selon l'équation suivante :

$$TG (\%) = n/N * 100$$

n: nombre de graines germées

N: nombre de graine totale

2. Longueur des racines et la longueur des feuilles

Après 15 jours de suivi, à l'aide d'une règle nous avons mesuré la longueur de racines et la longueur de feuilles.

3. Indice de vigueur

Pour évaluer la vigueur ultérieure de la plante, un indice de vigueur est calculée sur la base de la longueur des racines et des feuilles et la faculté de germination, selon l'équation suivante:

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

Bio-stimulation de la croissance du blé dur sous stress salin en pots

Préparation du substrat

Le sol utilisé dans cet essai est un sol obtenu à un sol arable de El Assafia (Laghouat), il a été stérilisé par autoclavage à 120°C. Le Substrat a été conditionnés en pots de plastique de couleur blanchâtre de 8 cm de long et 5cm de diamètre,

Désinfection de la semence du blé

La désinfection de la semence a été réalisé en utilisant le même protocole que celui utilisé pour le premier essai (cf. II.2. 1) .

l'inoculum bactérien

La préparation de la suspension bactérienne des quatre isolats de *Pseudomonas* spp. fluorescents saprophyte, a été réalisé en utilisant le même protocole que celui utilisé pour le premier essai (cf. II.2. 2).

3 Bactérisation du substrat

La bactérisation du substrat par les quatres suspensions bactériennes soit (AZ24, P12, P429, R2) a été réalisé par irrigation à raison de 20 ml/pot, 24 h jours avant le semis, un rappelle a été réalisé sept jours après. Pour le témoin non bactérisé (TNB) nous avons utilisé l'eau distillée.

II.3. 4 Solution saline d'irrigation

La solution saline a été apporté par irrigation avec de solution saline avec la concentration de 4 ;6 ; 8 ; 10 g/l de NaCl dissous dans l'eau de rabinée, pour le témoin nous avons utilisé que l'eau sans NaCl.

5 Dispositif expérimentale

Dans cet essai nous avons opté pour un dispositif en randomisation totale à deux par deux facteurs avec 4 répétitions Nous avons 25 traitements;

- ✓ **Facteur 1** : représente la bactérisation avec Cinq niveaux soit les souches bactériennes la souche P12, R2, P429, AZ24 et le témoin non bactérisé (TNB).
- ✓ **Facteur 2** : représente la concentration du facteur stressant soit le NaCl avec 5 niveaux pour le stress salin 0 ; 4 ; 6 ; 8 et 10 g/l de NaCl.

Les traitements en question sont :

T1 (témoin négatif) : sol n'est pas traité par suspension bactérienne et sans sel 0 g/l de NaCl.

T2, T3. T4, T5 : sol n'est pas traité par suspension bactérienne et traité avec solution saline de 4 ;6 ; 8 ; 10 g/l de NaCl respective (témoin positif).

T6 :sol traité par la suspension bactérienne (P12) et sans sel (0 g/l de NaCl).

T7, T8, T9. T10 ,:sol traité par la suspension bactérienne (P12) et avec solution saline de 4 ;6 ; 8 ; 10 g/l de NaCl respective.

T11 :sol traité par la suspension bactérienne (AZ24) et sans sel (0 g/l de NaCl).

T12, T33. T14, T15 :sol traité par la suspension bactérienne (AZ24) et avec solution saline de 4 ;6 ; 8 ; 10 g/l de NaCl respective.

T16 :sol traité par la suspension bactérienne (P429) et sans sel (0 g/l de NaCl).

T17, T18, T19, T20 :sol traité par la suspension bactérienne (P429) et avec solution saline de 4 ;6 ; 8 ; 10 g/l de NaCl respective.

T21 : sol traité par la suspension bactérienne (R2) et sans sel (0 g/l de NaCl).

T22, T23. T24, T25 :sol traité par la suspension bactérienne (R2) et avec solution saline de 4 ;6 ; 8 ; 10 g/l de NaCl respective.

Matériel et Méthodes

Nous avons semé quatre graines par pots recouvert par une couche fine de substrat (1 cm), à raison de quatre répartitions par traitement. Les pots sont ensuite déposés à l'air libre à une température ambiante (comprise entre 25 à 30°C) et sous un éclairage naturel (environ 14 heures de lumières par jour).

Les Paramètres étudiés

L'évolution de la croissance du blé a été effectuée par des mensurations sur des paramètres de croissance ci-dessous.

Mensuration sur racine

Après dépotage, chaque plant est débarrassé du sol adhérent à la racine, nous procédons immédiatement à la mesure de leur longueur racinaire, et la pesée pour déterminer le poids frais. Le poids sec a été déterminé pour chaque plant, après séchage à l'étuve pendant deux jours à une température de 105°C.

Mensuration sur feuilles

Après dépotage, nous procédons à la mesure de la hauteur des tiges. La partie aérienne (tige + feuille), fraîchement coupée au niveau du collet, a été immédiatement pesée pour déterminer le poids frais pour chaque plant, après séchage à l'étuve pendant deux jours à une température de 105°C pesée pour déterminer le poids sec.

Analyse statistique

Les résultats sont analysés par le logiciel stat box végétal 6.9 version d'essai, l'ANOVA en considérant l'essai aléatoire. C'est une analyse à deux facteurs de variation qui consistent en la bactériation et la concentration de NaCl que soit pour l'essai réalisé *in vitro* ou *in vivo*. L'analyse est complétée par le test de Newman et Keuls lorsqu'une variation significative avec un seuil d'erreur de 5 % a été révélée. Avec ce test, nous avons effectué la comparaison.

Résultats

Les résultats présentés dans cette partie sont issus des essais effectués sur des graines du blé dur pour mettre en évidence l'effet bénéfique des *Pseudomonas* spp. fluorescents sur la germination du blé dur sous stress abiotiques ; salin .

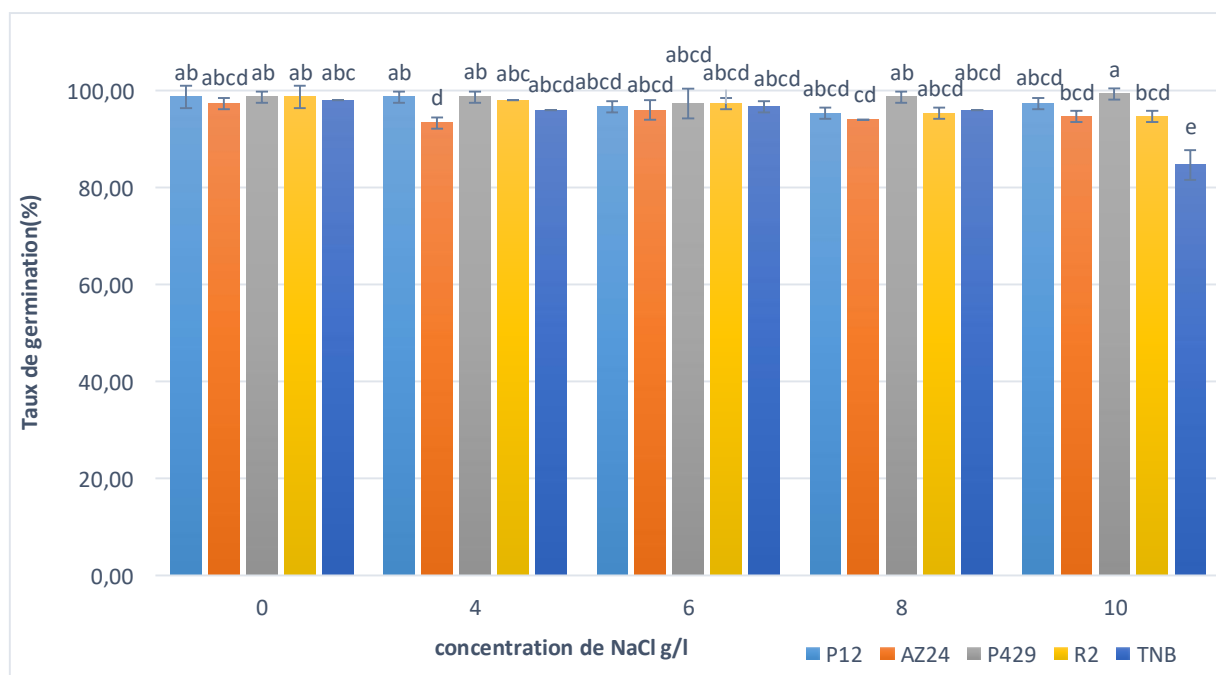
Les analyses statistiques des résultats ont montré des différences très hautement significatives pour l'ensemble des paramètres étudiés que ce soit pour facteur bactérisation le facteur concentration de NaCl, ou pour leurs interactions.

Les résultats relatifs à l'essai de la stimulation de la germination *invitro*

Effet sur le taux de germination

L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significatif pour l'interaction entre le facteur bactérisation et facteur concentration ($P=0.000$), nous avons noté que le traitement P429 à 10 g/l de NaCl a donné la meilleur moyenne de l'ordre de 99.33 % et classé dans le groupe (a) ,suivi par le traitement P12 ; P429 et R2 à 0 g/l et P12 ; P429 à 4 g/l de NaCl P429 à 8 g/l NaCl classé dans le groupe intermédiaire (ab) avec de moyenne entre l'ordre de 98.67 %, les traitements R2 à 4 g/l et le TNB à 0g/l sont classé dans le groupe (abc), et classé dans le groupe (bcd) et dans le groupe (d) et classé le traitement AZ24 à 4 g/l et en fin TNB à 10 g/l de NaCl avec une moyenne l'ordre de 84.67% est classé dans le groupe (e) (figure 5).

Résultats et discussion



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

P12, AZ24, P249, R2 : souches de *Pseudomonas* spp. fluorescents,

TNB : témoin non bacterisé

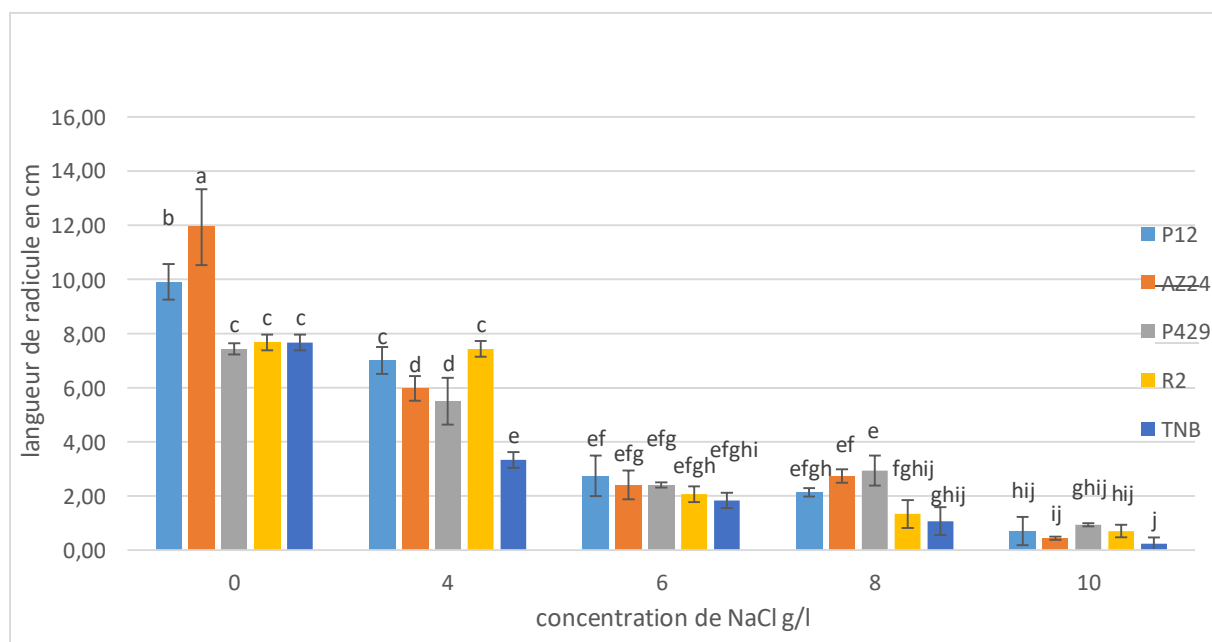
0 ; 4 ; 6 ; 8 et 10 g/l Concentrations de NaCl

Figure 5. Effet de l'interaction entre le facteur bactérisation et le facteur concentration du taux de germination du blé dur

III.1.1.1 Effet sur la longueur des racicules

L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative, pour l'interaction entre le facteur concentration du NaCl et le facteur bactérisation ($P=0.000$). Le meilleur traitement AZ24 à 0 g/l de NaCl classé la dans le groupe (a) avec une moyenne de 11.93 cm, au deuxième groupe (b) est classé le traitement P12 à 0 g/l de NaCl avec une moyenne de 9.90 cm, Dans groupe (c) sont classé les traitements TNB ; P429 et R2 à 0 g/l de NaCl, P12 et R2 à 0 g/l de NaCl avec des moyenne qui varie entre 7 et 7.66 cm, dans le groupe (d) sont classé les traitements AZ24 et P429 à 0 g/l de NaCl avec des moyennes respective 5.97 et 5 cm, dans le groupe (e) est classé le traitement TNB à 4 g/l et P429 à 8 g/l de NaCl avec des moyennes respective de 3.33 et 2.97 cm, le TNB à 10 g/l de NaCl a donné le plus faible moyenne avec 0.23 cm, et classés dans le groupe (j) (Figure 6).

Résultats et discussion



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

P12, AZ24, P429, R2 : souches de *Pseudomonas* spp. fluorescents,

TNB : témoin non bacterisé

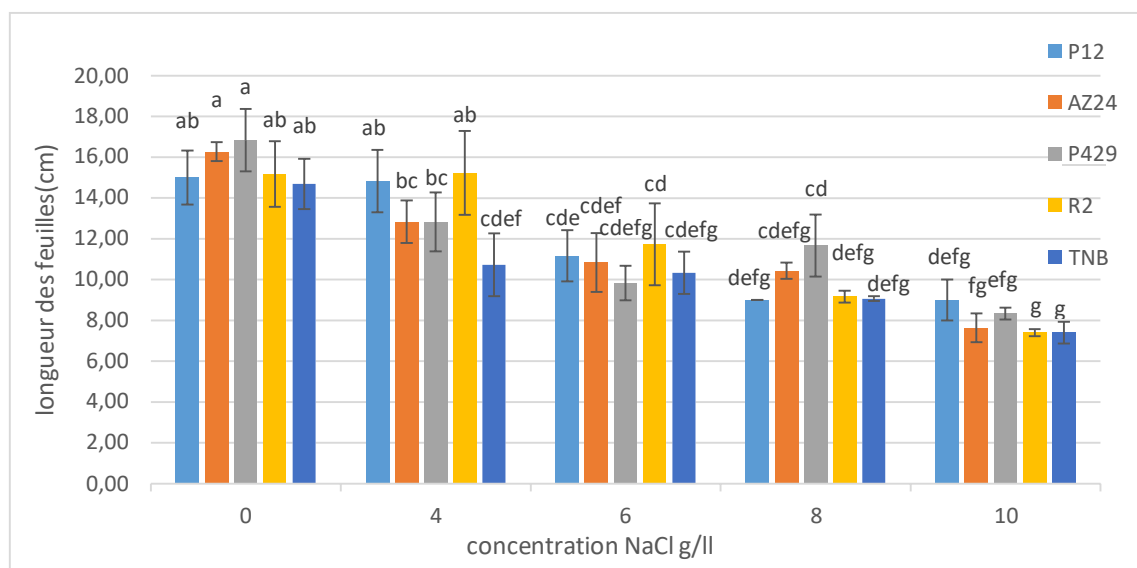
0 ; 4 ; 6 ; 8 et 10 g/l Concentrations de NaCl

Figure 6. Effet de l'interaction du facteur bactérisation et le facteur de concentration du NaCl sur la longueur des racines.

Effet sur la longueur des feuilles

L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative, pour l'interaction entre le facteur concentration du NaCl et le facteur bactérisation ($P=0.000$), les traitements bacterisés à la concentration 0 g/l de NaCl, la P429 et AZ24 ont enregistré une moyenne de 16,83 et 16,27 cm respectivement, classé dans le groupe (a), et P12 ; R2 et TNB à 0 g/l et P12 ; R2 à 4 g/l ont enregistré des moyennes entre 15.23 et 14.83 cm, et sont classé dans le groupe (ab), dans le groupe (cd) sont classés R2 à 6 g/l et P429 à 8 g/l avec des moyennes respectives de 11.73 et 11.67 cm, en dernier dans le groupe (g) sont classés R2 et TNB à 10 g/l avec une moyenne de 7,4 cm. (Figure 7).

Résultats et discussion



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

P12, AZ24, P249, R2 : souches de *Pseudomonas* spp. fluorescents,

TNB : témoin non bactérié

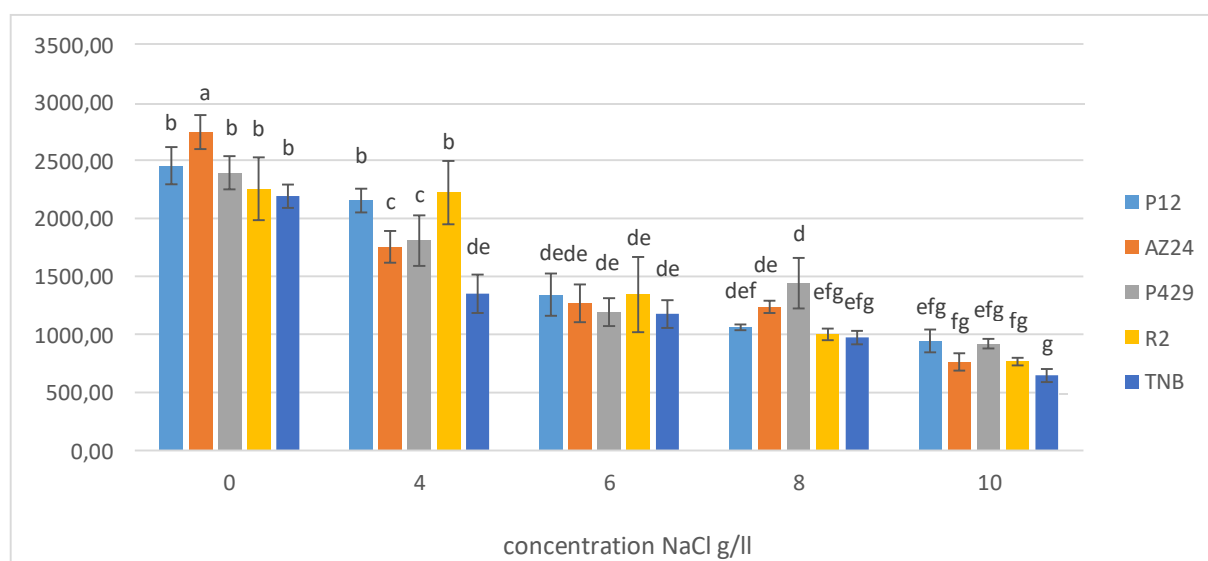
0 ; 4 ; 6 ; 8 et 10 g/l Concentrations de NaCl

Figure 7. Effets de l'interaction du facteur bactériation et concentration de NaCl sur la longueur des feuilles.

Effet sur l'indice de vigueur

L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative, pour l'interaction entre le facteur concentration du NaCl et le facteur bactériation ($P=0.000$), dans le groupe (a) est classé le traitement AZ24 à 0 g/l de NaCl avec une moyenne de 2743,53, en suit les traitements P12 ; P429 ; R2 et TNB à 0g/l et P12 ; R2 à 6 g/l de NaCl classé dans le deuxième groupe homogène (b) avec des moyennes entre 2454,76 et 2153,33 ; dans le groupe (c) est classé le traitement AZ24 et P429 à 4 g/l de NaCl avec des moyenne de 1802 et 1755,53 , le traitement P429 à 8g/l de NaCl est classé dans le groupe homogène (d) avec une moyenne de 1441,8 ; le plus faible indice est enregistré le TNB à 10 g/l de NaCl avec une moyenne de 646,73 et classé dans le groupe (g). (Figure 8).

Résultats et discussion



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

P12, AZ24, P249, R2 : souches de *Pseudomonas* spp. fluorescents,

TNB : témoin non bacterisé

0 ; 4 ; 6 ; 8 et 10 g/l Concentrations de NaCl

Figure 8.. Effet du l'interaction du facteur bactérisation et le facteur concentration NaCl sur l'indice de vigueur.

Les résultats relatifs à l'effet de salinité et de la bactérisation *in vivo*

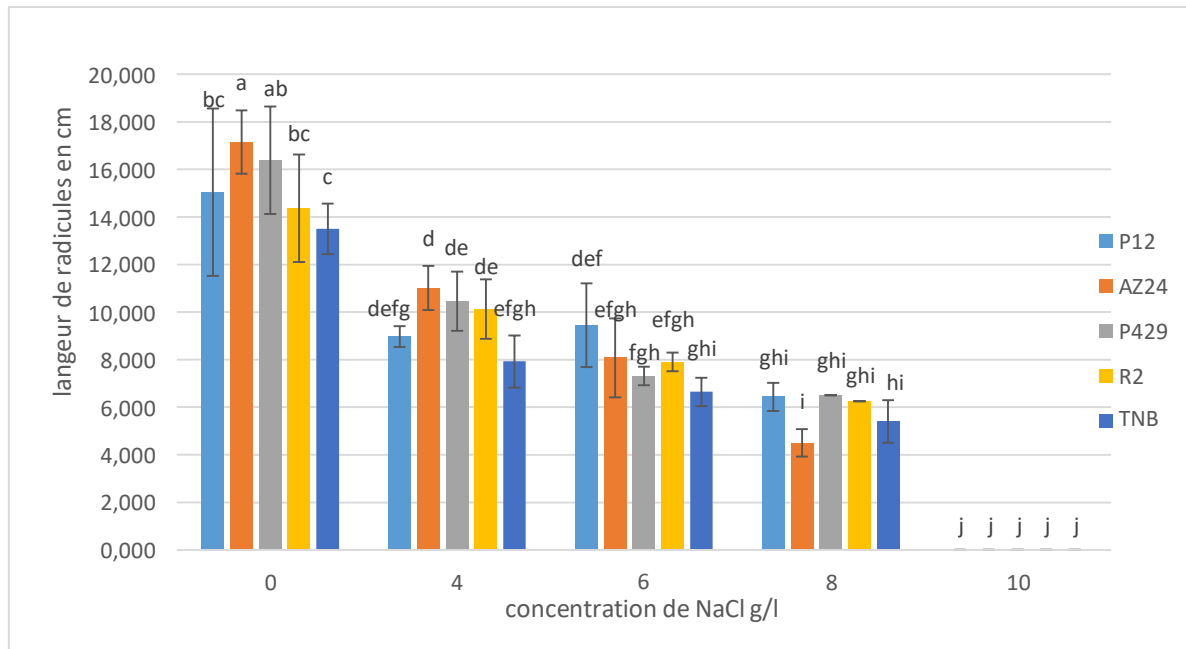
Pour l'ensemble des paramètres étudiées *in vivo*, à la concentration 10.g/l de NaCl nous n'avons enregistré aucune croissance, que soit pour les traitement bactérisés ou témoin non bacterisé (TNB) et classé dans dernier groupe homogène.

Effet sur la longueur des racines *in vivo*

L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative, pour l'interaction entre le facteur concentration du NaCl et le facteur bactérisation ($P=0.000$). Le meilleur traitement AZ24.à 0.g/l de NaCl classé la dans le groupe (a) avec une moyenne de 17.15 cm, au deuxième groupe (ab) est classé le traitement P429.à 0 g/l de NaCl avec une moyenne de 16 .37cm, en suite les traitements P12 et R2 à 0 g/l de NaCl classé dans le groupe (bc) avec une moyenne 15.03 cm et 14.36cm respectivement suivi le traitement TNB à 0 g/l de NaCl classé dans le groupe (c) ,pour la concentration 4 g/l NaCl ; AZ24 classé dans le groupe (d) avec de moyenne 11.01 cm , les plus faible longueur racinaire ont été enregistré à 8g/l de

Résultats et discussion

NaCl par TNB avec 5.41 et AZ24 avec 4,5 et il été classé successivement dans les groupes (hi) et (i) (Figure 9).



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

P12, AZ24, P249, R2 : souches de *Pseudomonas* spp.fluorescents,

TNB : témoin non bacterisé

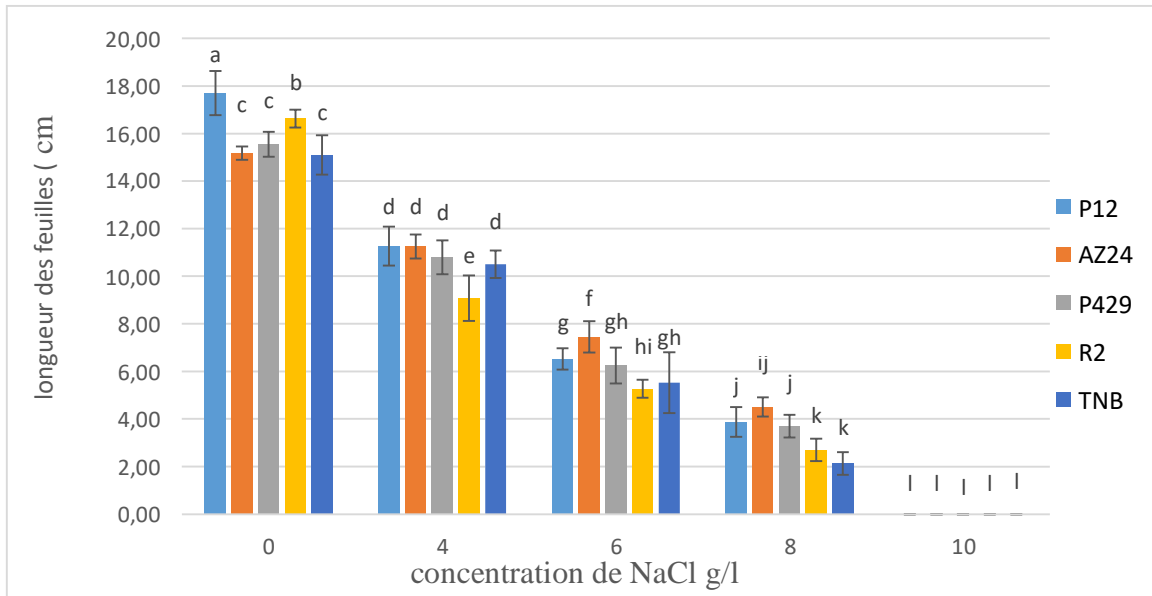
0 ;4 ; 6 ; 8 et 10 g/l Concentrations de NaCl

Figure 9. Effets de l'interaction du facteur bactérisation et concentration de NaCl sur la longueur des racines.

Effet sur la longueur des feuilles *in vivo*

L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative, pour l'interaction entre le facteur concentration du NaCl et le facteur bactérisation ($P=0.000$)., Le meilleur traitement P12 à 0 g/l de NaCl classé la dans le groupe (a) avec une moyenne de 17 ,70cm, au deuxième groupe (b) est classé le traitement R2 à 0 g/l de NaCl avec une moyenne de 16,62 cm, Dans groupe (c) est classé le traitement P429 ; AZ24 ; TNB à 0 g/l de NaCl avec des moyenne respective de 15 ,55 ; 15 ,17 ;et 15 ,10 cm en dernier dans le groupe (k) les traitements R2 et TNB à 8g/l de NaCl avec une moyenne de 2 ,70 cm et 2,12 cm respectivement (figure10)

Résultats et discussion



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

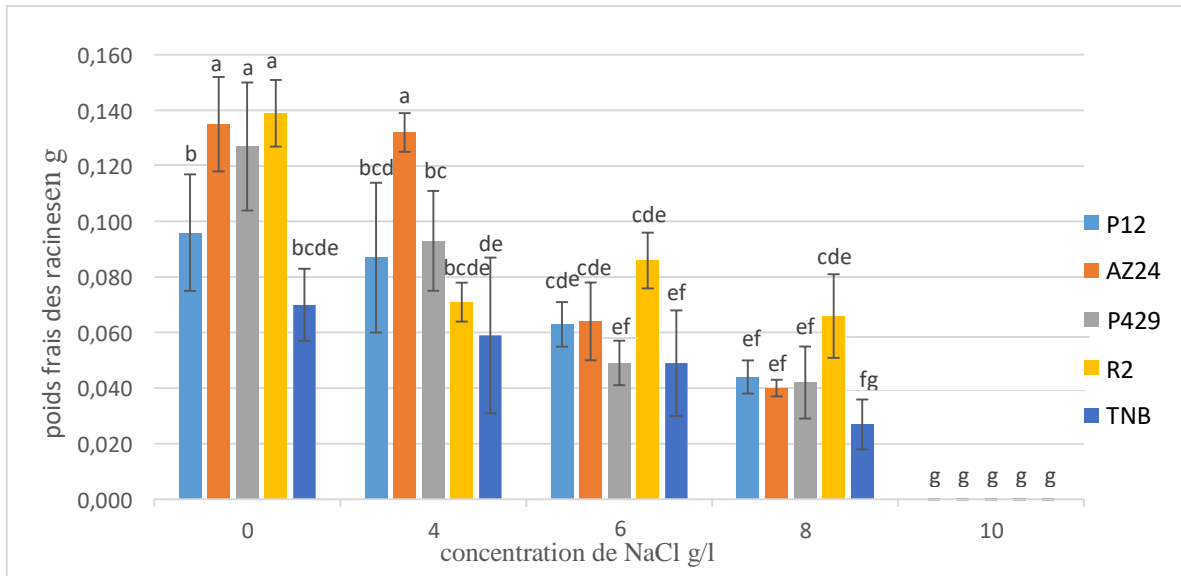
P12, AZ24, P249, R2 : souches de *Pseudomonas* spp. fluorescents,
 TNB : témoin non bactérié
 0 ; 4 ; 6 ; 8 et 10 g/l Concentrations de NaCl

Figure 10. Effets de l'interaction du facteur bactérisation et concentration de NaCl sur la longueur des feuilles.

pois frais des racines *in vivo*

L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative, pour l'interaction entre le facteur concentration du NaCl et le facteur bactérisation ($P=0.000$) Les meilleurs traitements AZ24 ,R2 et P429 à 0 g/l avec des moyenne respective de 0,139 ; 0,135 ; et 0,127 g et le traitement AZ24 à 4 g /l de NaCl avec une moyenne 0,132g classé la dans le groupe (a), au deuxième groupe (b) est classé le traitement P12.à 0 g/l de NaCl avec une moyenne de 0,096g , en suite le traitement P 429 à 4 g/l de NaCl classé dans le groupe (bc)avec une moyenne 0,093g , le plus faible poids est enregistré par le traitement TNB à 8g/l e NaCl classé dans le groupe (f g) avec une moyenne de 0,027g (Figure 11).

Résultats et discussion



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

P12, AZ24, P249, R2 : souches de *Pseudomonas* spp. fluorescents,
 TNB : témoin non bacterisé
 0 ; 4 ; 6 ; 8 et 10 g/l Concentrations de NaCl

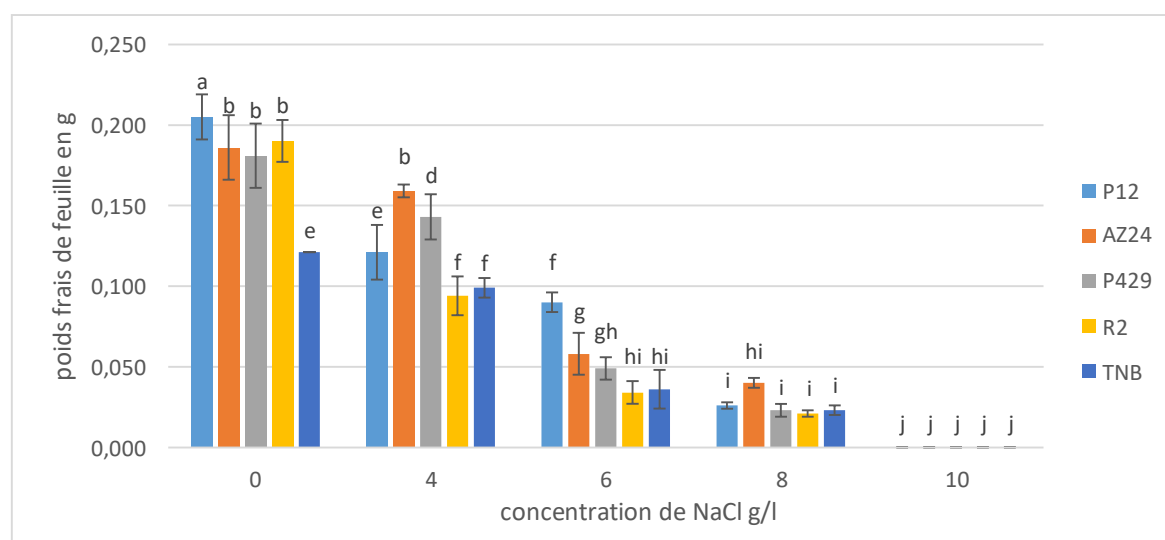
Figure 11. Effets de l'interaction du facteur bactérisation et concentration de NaCl sur le poids frais des racines

Poids frais des feuilles *in vivo*

Concernant le poids frais des feuilles, L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative, pour l'interaction entre le facteur concentration du NaCl et le facteur bactérisation ($P=0.000$). Le meilleur résultat est obtenu par le traitement P12.à 0g/l avec une moyenne de 0,205 g ; classé la dans le groupe (a), au deuxième groupe (b) est classé les traitements R2 ; AZ24 ; et P429 à 0 g/l de NaCl avec des moyennes respectives de 0,190 ; 0.186 ; et 0.181g et le traitement AZ24 à 4 g/l de NaCl avec une moyenne de 0,159 g, suivi par le traitements P429 à 4 g/l de NaCl avec moyenne 0,143 g ; classé dans le groupe (d). Dans le groupe (e) sont classés les traitements P12 à 4g/l de NaCl et TNB à 0g/l de NaCl avec une moyenne de 0,121 g. les traitements TNB et R2 à 4 g/l NaCl , et la P12 à 6 g/l NaCl avec des moyennes respectives de l'ordre de 0.099 ; 0.094 ; et 0.090 g, et classés dans le groupe (f). le traitement AZ24 à 6g /l de NaCl avec moyenne 0,058 g ; et classé dans le groupe (g), suivi par P429 à 6g /l de NaCl avec une moyenne de 0.049 g, classé dans le groupe (g h) , après TNB et R2 à 6g /l , set AZ24 à 8g/l, avec respectivement des moyennes de 0.036 ; 0.034 et 0.040 g classés dans le groupe (hi) , les plus faibles moyennes mesurés sont enregistrés à 8 g/l

Résultats et discussion

NaCl par P12 ; P429 ; TNB ; et R2 avec des moyenne entre 0.026 et 0.021g classé dans le groupe (i) (figure 12).



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

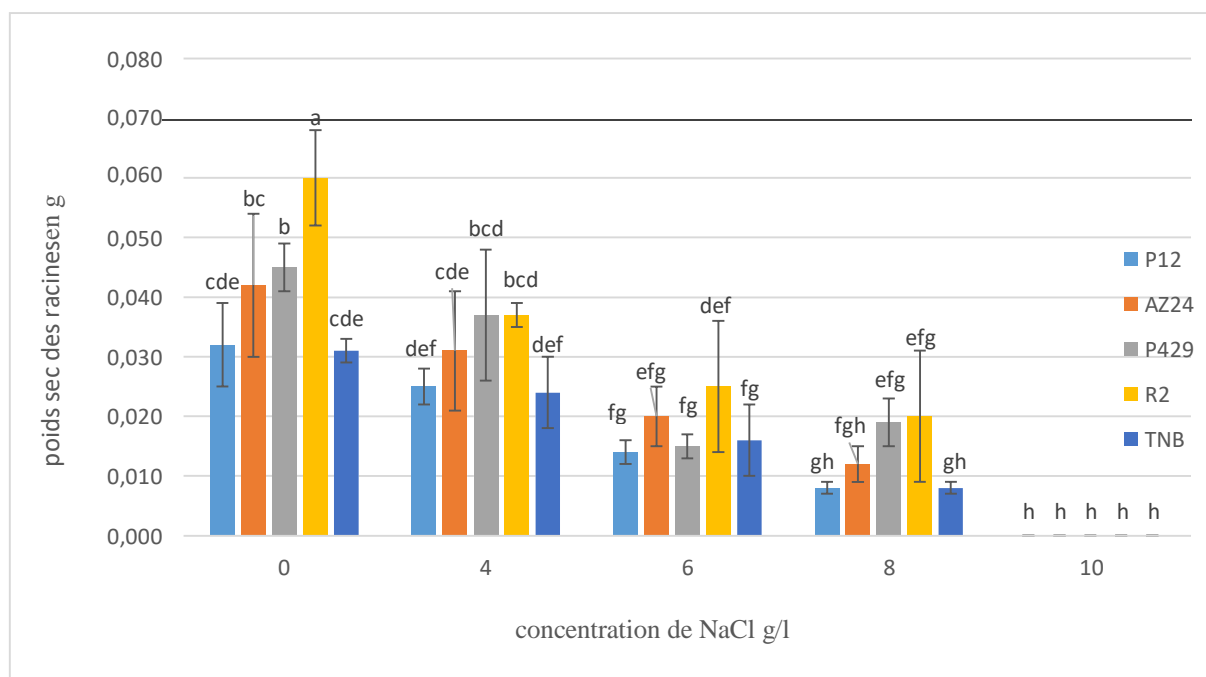
P12, AZ24, P249, R2 : souches de *Pseudomonas* spp. fluorescents,
 TNB : témoin non bacterisé
 0 ; 4 ; 6 ; 8 et 10 g/l Concentrations de NaCl

Figure 12. Effets de l'interaction du facteur bactérisation et concentration de NaCl sur le poids frais des feuille

Poids sec des racines *in vivo*

Pour le poids sec des racines, L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative ($P=0.000$), pour l'interaction entre le facteur concentration du NaCl et le facteur bactérisation. Les meilleurs traitement R2 à 0 g/l avec une moyenne de 0,060 g de NaCl classé la dans le groupe (a), suivi dans le groupe (b) par le traitement P429 à 0 g/l de NaCl avec une moyenne de 0,045g , le traitement AZ24 à 0 g/l de NaCl classé dans le groupe (bc) avec une moyenne 0,042g , suivi par les traitements P429 et R2 à 4 g/l de NaCl avec moyenne 0,037 g classé dans le groupe (b cd) , après les traitements P12 et TNB à 0 g/l de NaCl et AZ24 à 4 g/l ; avec des moyenne respectives de 0,032 ; 0,031 ; 0,031 g ; et sont classés dans le groupe (cd e) . à 6 g/l de NaCl ; R2 avec une moyenne 0,025g classé dans le groupe (d e f), à 8 g/l ; R2 et P429 ont enregistré respectivement des moyenne 0,020 et 0,019 g , et classés dans le groupe (e f g), en dernier les traitements TNB et P12 à 8g/l e NaCl sont classé dans le groupe (g h) avec de moyenne 0,008g (figure13).

Résultats et discussion



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

P12, AZ24, P249, R2 : souches de *Pseudomonas* spp. fluorescents,

TNB : témoin non bacterisé

0 ; 4 ; 6 ; 8 et 10 g/l Concentrations de NaCl

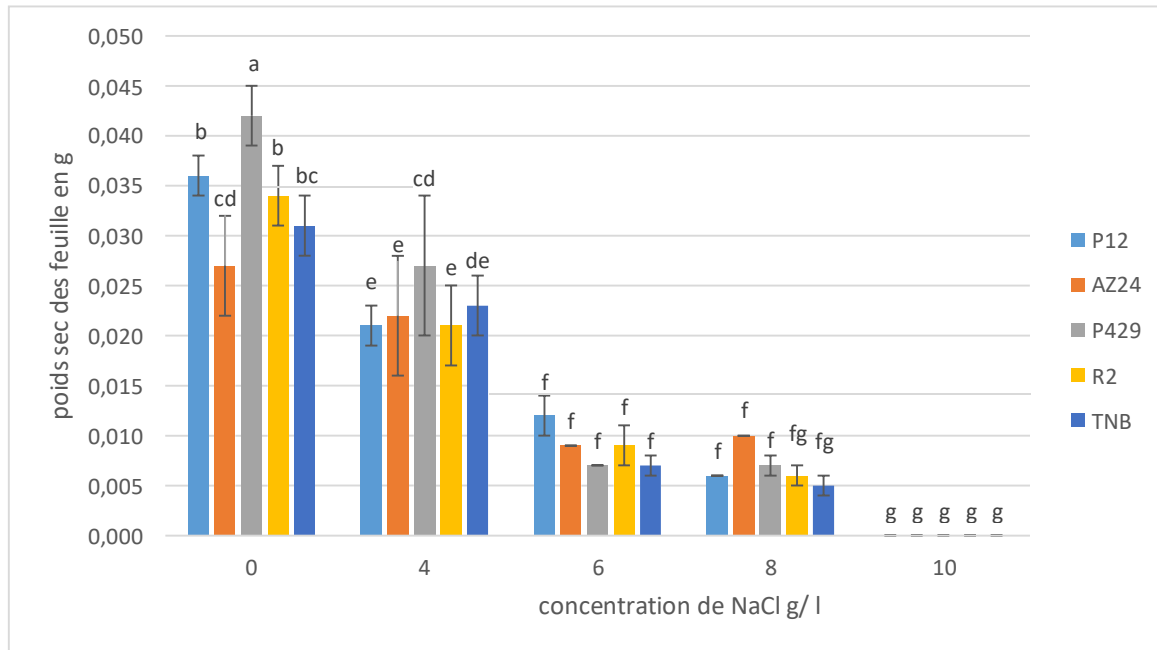
Figure 13. Effets de l'interaction du facteur bactérisation et concentration de NaCl sur le poids sec des racines

III.1.2.5 Poids sec des feuilles *in vivo*

Concernant le poids sec des feuilles, L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative ($P=0.000$), pour l'interaction entre le facteur concentration de NaCl et le facteur bactérisation. Le meilleur poids a été enregistré par le traitement P429 à 0 g/l de NaCl avec une moyenne de 0,042 g, et classé la dans le groupe (a), dans le groupe (b) sont classés les traitements R2 et P12 à 0 g/l de NaCl avec une moyenne de 0,036 et 0.034 g respectivement, suivi par TNB à 0 g/l de NaCl avec moyenne 0,032 g ; dans le groupe (b c). Les traitements AZ24 à 0 g/l de NaCl avec moyenne 0,027 g, et P429 à 4 g/l de NaCl avec moyenne 0,027 g, sont classés dans le groupe (cd). Le traitement TNB à 4g/l de NaCl avec moyenne 0,023 g est classé dans le groupe (de). Dans le groupe (e) sont classés les traitements AZ24 ; P12 ; et R2 à 6 g/l NaCl avec des moyennes de 0.022 , et 0.021 g et 8g/l NaCl les traitements AZ24 ;P12 et R2 ; avec des moyennes 0.022 g, 0.021 g 0.021 g classé dans le

Résultats et discussion

groupe (e). Dans groupe (f) sont classés tous les traitements de la concentration 6 g /l de NaCl, ainsi que les traitements AZ24 ; P12 ; et R2 à 8 g/l de NaCl avec moyennes allant de 0,012 à 0,006 g. en fin dans le groupe (f g) ; sont classés TNB à 8 et R2 g/l de NaCl avec moyenne 0,005 g (figure 14).



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

P12, AZ24, P249, R2 : souches de *Pseudomonas* spp. fluorescents,

TNB : témoin non bacterisé

0 ; 4 ; 6 ; 8 et 10 g/l Concentrations de NaCl

Figure 14. Effets de l'interaction du facteur bactérisation et concentration de NaCl sur le poids sec des feuille

III.2. Discussion

Notre travail a pour objectif d'estimer les effets des contraintes saline sur la phase de germination des graines de blé dur (*Triticum durum*) en présence de quatre souches de *Pseudomonas* spp. fluorescents (P12, AZ24, P429 et R2) D'après l'analyse de variance, nous avons enregistré des résultats très hautement significatifs pour les deux facteurs étudiés et leurs interactions.

Dans notre essai nous avons remarqué que les souches bactériennes jouent un rôle bénéfique sur la germination des graines de blé dur (*Triticum durum*) , nous avons constaté que d'une manière générale pour l'ensemble des paramètres étudiés les traitements bactériés ont donnés des meilleurs résultats que ceux non bactériés que ce soit pour les résultats obtenu *in vitro* ou *in vivo* , et une inhibition complète de la croissance a été enregistrée à la concentration 10 g/ l de NaCl *in vivo*, alors que *in vitro* la germination a dépassé les 84.67% mais les indices de vigueur sont faibles.,

Nous avons constaté que les résultats enregistrés *in vitro* chez la souche P429 avec moyenne 98.53 % à la concentration 10 g/ l de NaCl ont été meilleurs que ceux obtenus par les souche AZ24, P12 et, R2, surtout en stress salin, la bactérie aide les grains à la germination et le développement des racines et des feuilles. Malgré des taux de germination élevée pour l'ensemble des traitements entre 84.67 et 98.53 %, l'indice de vigueur diminué en fonction de la concentration en NaCl. Pour les résultats obtenus *in vivo* nous avons ressorti avec les mêmes constatations que celle de l'essai *in vitro*, les traitements bactériés ont enregistré des meilleurs résultats par rapport aux témoins non bactériés, l'effet de la salinité est remarquable sur tous les paramètres comparés avec ceux obtenus à la concentration 0 g/ l de NaCl surtout pour les paramètres de croissance.

Le témoin non bactériés a enregistré à la concentration 10 g/ l de NaCl ; le plus faible taux de germination de 84.67 %, le retard de germination, engendré par les concentrations croissantes du milieu en NaCl et PEG (première phase de la germination), pourrait s'expliquer par l'allongement du temps nécessaire à l'imbibition des graines (Ben Miled *et al.*, 1986 ; Jaouad *et al.* , 2010 ; Smaoui et Cherif , 1986) . De nombreux travaux ont montré que le stress salin affecte la germination des graines des glycophytes par des effets osmotiques et toxiques (Munns , 2002)

Résultats et discussion

L'effet négatif des sels peut également s'expliquer par un ralentissement de la mobilisation des réserves, en raison de l'inactivation de la synthèse des hydrolase et ou de l'inhibition du transfert des produits de l'hydrolyse de l'endosperme à l'embryon (De Oliviera *et al.* , 1998) . Lors d'un stress hydrique ou salin, des LEAS et des HSPs sont accumulées (Gallardo *et al.* , 2001 ; Lachhab *et al.* , 2013) . Ces dernières interviennent comme osmoprotectants et antioxydants (Kalumba et Pukacha , 2007) .

Plusieurs études ont montré que le sel a un effet dépressif sur le taux de germination , sur la croissance biologique et sur la production des graines (M'barek *et al.* , 2001)

D'autres études signalent que le stress salin induirait une production des dérivés réactifs d'oxygène (ROS) aboutissant à la peroxydation des lipides chloroplastiques et mitochondriaux , à la perte de l'intégrité membranaire , à la dégradation des protéines et à l'inactivation des enzymes (Gondim *et al.* , 2010 ; Lachhab *et al.* , 2013 ; Mahi *et al.* , 2015 ; Reolon *et al.* , 2013) .

La longueur des racines et des racines et leurs poids diminué graduellement en fonction du la concentration en NaCl, elle est réduite pour l'ensemble des traitements par rapport aux traitement bactérisés sans (NaCl), Perez et Tambelini (1995) ont signalé que les concentrations élevées de sel , particulièrement le chlorure de sodium (NaCl), Peuvent inhiber l'activité enzymatique des graines et retarder la sortie et le développement de la racicule.

Une réduction du la longueur des feuilles et le poids des feuilles est aussi constaté, d'après Munns *et al.* (2006), Le degré de sensibilité au stress salin dépend du stage végétatif au cours duquel la plante subit le stress. Chez certaines espèces, c'est le stage juvénile qui est le plus sensible, alors que chez d'autres espèces, c'est le stade adulte qui est le plus sensible. Ainsi par exemple l'orge, le blé, le sorgho, la betterave et le tournesol se montrent plus sensibles au stade juvénile qu'au stade plante adulte. ces mêmes auteurs ont rapporté que les protéines solubles augmentent à des niveaux bas de salinité et diminuent à des seuils élevés de concentrations salines chez certaines plantes

L'effet de la salinité sur la germination de blé dur est bien étudié par (Azmi et Alam (1990) et Guerrier (1983). En général la salinité occasionne une diminution de l'absorption d'eau des graines à cause de stress osmotique créer par les concentrations élevées de NaCl dans les milieux de germination, mais cet effet de stress salin n'est pas permanent, par ce que le sel à l'inverse des autres substrats osmotiques (PEG) peut de pénétrer à l'intérieur de tissus de la

Résultats et discussion

graine (Huang Redman, 1995 ; El- Sayed et EL-Haak, 1991 ; Cholamu Roza et Khayatnezhed, 2011). L'accumulation des sels notamment le NaCl entraîne une toxicité des tissus et celle-ci empêche la sortie de radicule indispensable pour l'approvisionnement en eau nécessaire à la croissance (Marambe et Ando, 1995 ; Johanna A. F, 2006). Pour cette raison on a observé dans notre travail que la longueur de la radicule et de l'épicotyle est affectée d'une façon significative dans les hautes concentrations en sel. Comportement du matériel végétal étudié vis-à-vis de la salinité. La tolérance au stress salin demeure la résultante de nombreux mécanismes adaptatifs fonctionnels durant la vie de la plante.

Selon les résultats de plusieurs recherches (Ali Ben aabed elmouhcen, 2006 ; FernandezBallester *et al.* , 1998 ; Laure Gaufichonet *et al.* , 2010 ; Zaghdoud Choukri *et al.* , 2011) qui sont réalisées au niveau du stress salin sur la croissance végétale on peut citer les principaux effets inhibiteurs de NaCl sur la croissance dans les points suivant :

- La sécheresse physiologique sous l'effet du stress salin (l'absorption insuffisante de l'eau sous l'effet de la concentration élevée en sel qui assure une diminution du potentiel hydrique du sol et à l'autre côté l'augmentation de la transpiration).
- Stress ionique ou toxicité ionique sous l'effet de l'accumulation de certains ions non organique comme Na⁺ et Cl⁻.
- Le stress de déséquilibre ionique, ou la déficience de la nutrition minérale dans le tissu de la plante.
- Inhibition de l'élongation cellulaire notamment les cellules apicales

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 .

Parmi les mécanismes impliqué dans 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

Résultats et discussion

une de proline chez trois variétés de blé soumises à des concentrations accentuées relativement régulière de proline de salinite , 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 Sous des conditions de stress abiotique les PGPR synthétisent ou accumulent certaines de la cellule entière ces molécules permettent à la cellule de s'adapter aux conditions sévères molécules dites « solutés compatibles » car compatibles avec le fonctionnement physiologique de stress salin , thermique , nutritionnel , oxydatif etc. (Caldas *et al.* , 1999 ; Oren , 2003) . De mémé 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 phytohorones bactériennes impliquées dans la promotion de la croissance des plantes (Morrone *et al.* , 2009 ; Reddy , 2014 ; Endo *et al.* , 2014) .

Conclusion

Le stress abiotique affecte le développement et le bon fonctionnement des plantes. Par ailleurs, la plante doit disposer des mécanismes d'adaptation qui lui permettent de supporter la sécheresse, la haute température et la salinité. Les principaux mécanismes de la tolérance à ces contraintes demeurent la résultante de plusieurs actions : L'expression de différents gènes et l'accumulation de diverses osmolytes.

Dans le cadre de ce travail, nous nous sommes intéressés à comparer l'effet des souches bactériennes non pathogènes *Pseudomonas* spp. fluorescents sur la germination et la croissance des graines du blé dur (*Triticum durum*) sous stress abiotiques salin. L'expérimentation a été conduite en deux essais, le premier consiste à étudier l'effet de quatre solats bactériens de *Pseudomonas* spp. fluorescents sur biostimulation de la germination du blé dur sous stress salin *in vitro*, le deuxième essai vise la phytostimulation *in vivo*, il a été conduit dans du sol en pot irrigué par l'eau salé.

L'influence de la salinité sur le taux de germination de blé dur (*Triticum durum* Desf) s'est manifestée par une réduction de taux de germination, réduction d'autant plus importante que la dose de sel augmente. D'après les résultats obtenus le sel (NaCl) a une influence négative sur le l'indice de vigueur et les paramètres de croissance que sur le taux de germination. Malgré ça nous avons pu conclure d'une manière générale que les souches de *Pseudomonas* fluorescents ont amélioré même légèrement la croissance et la germination par comparés aux témoins non bactériés, ces mêmes constatations sont enregistrées pour les résultats obtenu *in vivo*.

Donc les résultats obtenus ont mis en évidence l'effet néfaste du sel ainsi que l'effet bénéfiques des souches bactériennes Dans ces essai les souches de *Pseudomonas* spp. fluorescents répondant positivement aux teneurs en sel testées proches de celles d'un sol salin dans nos régions. Nos quatre souches testés surtout P429, et R2 :

- la germination des graines de blé dur lorsque les conditions d'environnement sont défavorables
- Les paramètres morphologiques (longueur des racines, longueur des feuilles) Ce qui a été confirmé par l'indice de vigueur.

Conclusion

- Les paramètres de croissance *in vivo* (longueur des racine, longueur des feuilles, poids frais et sec des feuilles et des racines)

Les résultats de cette étude encouragent le passage vers une « bio-agriculture » saine et bénéfique à la santé humaine et à l'économie nationale. L'exploitation de bactéries rhizosphériques comme agents de biofertilisation et de biocontrôle s'impose comme une alternative aux produits chimiques (fertilisants ou pesticides) tant nuisibles pour l'environnement que pour la santé publique. Dans les régions affectées par la salinité, un recours aux osmoprotecteurs naturels pour renforcer les inocula bactériens serait d'un grand intérêt économique. Sur la base de leur capacité de production de molécules stimulant la croissance végétale (solubilisation des phosphates, production d'IAA et d'ammoniac) et leurs activités de lutte biologique (élaboration de sidérophores, de HCN et un effet antifongique, certains isolats locaux, surtout ceux identifiés comme des *Pseudomonas fluorescents* spp., serviraient efficacement d'inocula au blé et amélioreraient considérablement la croissance et le rendement.

Il est souhaitable de pousser les travaux sur ces bactéries pour qu'elles puissent être exploitées comme biofertilisateurs et agents de lutte biologique et constituer ainsi une alternative biologique aux engrais chimiques et fongicides synthétiques nuisibles à la santé humaine. Chercher des souches productrices d'AAI est une approche efficace pour atténuer le stress osmotique imposé aux plantes dans des situations biendéfinies. Elles pourraient être en suite, exploitées pour une agriculture durable dans les sols arides et salés.

Référence :

Adam A. (2008). Elicitation de la résistance systémique induite chez la tomate et le concombre et activation de la voie de la lipoxygénase par des rhizobactéries non pathogènes. Thèse de Doctorat., université de Liège, Belgique : 165.343-354 abiotic stress tolerance in cereals. Briefings in Functional genomics and Proteomics.(4):

Banuls, J., Legaz, F. and Primo-Millo, E. (1990) ..Effect of salinity on uptake and distribution of chloride and sodium in some citrus scion-rootstock combinations. *Journal of Horticultural Science* 65(6): 715-724.

Beauchamp, C. (1993) : Mode d'action des rhizobactéries favorisant la croissance des plantes et potentiel de leur utilisation comme agent de lutte biologique, p19

Bell-Perkins, L. J., et J.M. Lynch. (2002). Rhizosphere microbiology, p. 2713-2728. In G. Bitton (ed.), *Encyclopedia of environmental microbiology*, A Wiley-Interscience Publication, Canada.

Benaouda et Karrou.(1994)In Boulal et al.,2007)Clément-Grandcourt M, et Parts j1971, « les céréales ».J B –Baillière et fils.,351p.

Benkolli M et Bouzeghaia B.(2016). Etude biochimique de dix variétés de blé dur.

Benmati M.(2014). PGPR, paranodules, stimulation de la croissance et tolérance au déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) : Aspects moléculaires et génétiques. Thèse de Doctorat, Université Constantine 1. Alger 181.

Bonjean A, Picard E.(1991). Les céréales à paille : Origine-histoire-économie-sélection. Ligugé; Poitiers : Aubin imprimeur. 36p.

Cerezo, M., García-Agustín, P., Serna, M. D. and Primo-Millo, E. (1997). Kinetics of nitrate uptake by Citrus seedlings and inhibitory effects of salinity. *Plant Science* 126(1):105-112.

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, Université Ferhat Abbas Sétif 1, p10.

Chinnusamy V.; Zhu J. and Zhu J. K. (2006). Gene regulation during cold acclimation in plants.

- Csonka.L.N. (1989).**Physiological and genetic responses of bacteria to osmotic stress.
- De Weert, S., H. Vermeiren, I.H.M. Mulders, I. Kuiper, N. Hendrickx, G.V. Bloemberg,J. Vanderleyden, R. De Mot, et B.J.J. Lugtenberg. (2002).** Flagella-driven chemotaxis towards exudates components is an important trait for tomato root colonization by *Pseudomonas fluorescens*. *Mol. Plant Microbe Interact.* **15**: 1173-1180
- Dubcovsky J., Dvorak J. (2007).** Genome Plasticity a Key Factor in the Success of Polyploid Wheat Under Domestication. *Science* 316 [Issue 5833], p 1862.
- Feillet P.(2000).** Le grain de blé : composition et utilisation. *INRA*.Paris FEMS Microbiol. Rev. 14: 3-20.
- Ghassemi F, Jakeman AJ, Nix HA .(1995) .**Salinisation of land and water resources: human causes,extent, management and case studies. Walling ford, Oxon, UK.
- Glick B.R, D.M. Karaturovic, P.C. Newell. (1995).** A novel procedure for rapid isolation of plant growth promoting Pseudomonads.*Canadian Journal of Microbiology* 41: 533-536.
- Greenway, H. and Munns, R. (1980).**Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes .*Annual review of plant physiology* 31(1): 149-190.
- Haas, D. and Défago, G. (2005).** Biological control of soil-borne pathogens by fluorescent pseudomonads.*Nat. Rev. Microbiol.* 3: 307–319.
- Haas, D., and Keel, C. (2003).** Regulation of antibiotic production in root-colonizing *Pseudomonas* spp. and relevance for biological control of plant disease.*Annu. Rev. Phytopathol.* **41**: 117–153.
- Hamla C., (2016).** Caractérisation des gènes de tolérance à la sécheresse chez le blé dur :étude du rôle des déhydrines et des aquaporines.Thèse. UniversitéMentouri,Constantine Faculté de biologie Département de Biologie Végétale et Écologie.p32-33.
- Henry, Y., B uyser, J. (2000).**L'origine du blé. *Pour la Science,Hors-série*.26 :60-62.
- Mckey J. (1968).** Species relations in Triticum.*Proc.2nd International Wheat Genetic symposium.Hereditas*2, 237-276.

Hernandez, J., Jimenez, A., Mullineaux, P. and Sevilla, F. (2000). Tolerance of pea (*Pisum sativum* L.) to long-term salt stress is associated with induction of antioxidant defences. *Plant, cell & environment* 23(8): 853-862.

Höfte, M., et N. Altier. (2010). Fluorescent pseudomonads as biocontrol agents for sustainable agricultural systems. *Res. Microbiol.* **161**: 464-471.

Hol, W. H. Gera., Martijn T. Bezemer and Biere A.(2013). Getting the ecology into interactions between plants and the plant growth promoting bacterium *Pseudomonas fluorescens*., *Frontiers in Plant science*., 4: 296-302 .

James, R. A., Davenport, R. J. and Munns, R.(2006). Physiological characterization of two genes for Na⁺ exclusion in durum wheat, *Nax1* and *Nax2*. *Plant physiology* 142(4):1537-1547.

Joseph, B. and Jini, D. (2011). Development of salt stress-tolerant plants by gene manipulation of antioxidant enzymes. *Asian journal of agricultural research* 5(1): 17-27.

Kamilova, F., S. Validov, T. Azarova, I. Mulders, et B. Lugtenberg. (2005). Enrichment for enhanced competitive plant root tip colonizers selects for a new class of biocontrol bacteria. *Environ. Microbiol.* **7**: 1809–1817.

Kempf, B., et E. Bremer.(1998). Uptake and synthesis of compatible solutes as microbial.

Kloepper, J.W. and Schroth, M.N.(1978). Plant growth-promoting rhizobacteria on radishes. In: 4th Int. *Conf. Plant Pathogen. Bacteria*. Angers France, 2. Pp: 879-882.

Langridge P.; Paltridge N. and Fincher G., 2006- Functional genomics of abiotic stress tolerance in cereals. *Briefings in Functional genomics and Proteomics*.(4):343-354

Lavelle, P., et A.V. Spain.(2001). Soil ecology. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands. 654 pages

Le Rudulier, D., K. Mandon., L. Dupont., et J.C. Trinchant. (2002). Salinity effects on physiology of soil microorganisms, p. 2774-2789. In G. Bitton (ed.), *Encyclopedia of environmental microbiology*. A Wiley-Interscience Publication. Canada.

Lemanceau, P. (1992). Effets bénéfiques de rhizobactéries sur les plantes : exemple des *Pseudomonas* spp. fluorescents. *Agronomie.* **12**: 413-437

Levigneron, A., F. Lopez, G. Vansuyt, P. Berthomieu, P. Fourcroy, et F. Casse Delbart.(1995). Les plantes face au stress salin. *Cahier Agric.* **4**: 263-73

Loyer, J.Y. (1991). Classification des sols salés : les sols salic. Cah. Orston. sér. Pédol. **26:** 51-61.

Lucht, J.M., et E. Bremer. (1994). Adaptation of *Escherichia coli* to high osmolarity environments : osmoregulation of the high-affinity glycine betaine transport system ProU.FEMS Microbiol. Rev. **14:** 3-20

Lugtenberg, B., et F. Kamilova. (2009). Plant-growth-promoting rhizobacteria. Annu. Rev.Microbiol. **63:** 541-56.

Marouf A. et Reynaud J. (2007).La botanique de A à Z. 1662 définitions. Ed Dunod .

Meloni, D. A., Oliva, M. A., Martinez, C. A. and Cambraia, J. (2003).Photosynthesis and activity of superoxide dismutase, peroxidase and glutathione reductase in cotton under salt stress.Environmental and Experimental Botany 49(1): 69-76.

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

Mezaache S. (2012). Localisation des déterminants de la suppression de quelques souches de *Pseudomonas* isolées de la rhizosphère de la pomme de terre. Thèse de Doctorat, université Ferhat Abbas Sétif : 141.Microbiol. Rev. 53:121-1474.

Moule,(1980).« les céréales ».maison rustique,1980,235p . **Moore, E.R.B., B.J. Tindall, V.A.P. Martins Dos Santos, D.H. Pieper, J.L. Ramos,et N.J. Palleroni. (2006).** Nonmedical: *Pseudomonas*, p.646-703. In M. Dworkin, S. Falkow, E. Rosenberg, K. H. Schleifer, et E. Stackebrandt (ed.), Prokaryotes, Springer, USA

Munns, R. (2002).Comparative physiology of salt and water stress.Plant, cell & environment 25(2): 239-250.

Munns, R. (2009). Strategies for Crop improvement in Saline Soils. Chapter 11. In M. Ashraf,M. Ozturk, H.R. Athar (ed.), Salinity and water stress, improving crop efficiency, Springer Science. Business Media B.V.

Pankaj K, Dubey R C, Maheshwari D K etBajpai V K. (2016). Isolation of plant growth promoting *Pseudomonas* sp. PPR 8 from the rhizosphere of *Phaseolus vulgaris* L, vol 68(2):363-374

Pitmani, M. G., et A. Lauchli. (2004). Global impact of salinity and agricultural ecosystems, p.3-20. *In* A. Läuchli, et U. Lüttig (ed.), *Salinity : Environment-plants-molecules*. Kluwer, Dordrecht, Netherlands.

Rabie, G. and Almadini, A. (2005). Role of bioinoculants in development of salt-tolerance of Vicia faba plants under salinity stress. *African Journal of Biotechnology* (4):210-222.

Hamdia, M. and Shaddad, M. (2010). Salt tolerance of crop plants. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry* 6(3): 64-90.

Romero-Aranda, R., Moya, J., Tadeo, F., Legaz, F., Primo-Millo, E. and Talon, M. (1998). Physiological and anatomical disturbances induced by chloride salts in sensitive and tolerant citrus: beneficial and detrimental effects of cations. *Plant, cell & environment* 21(12): 1243-1253.

Saranraj P. (2014). Biocontrol potentiality of Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) – *Pseudomonas fluorescens* and *Bacillus subtilis*: AR: *African journal of agricultural research*. vol 9(16): 1265-1277. Science Business Media B.V.

Selmi R. (2000). Fin du mythe de l'autosuffisance alimentaire et place aux avantages comparatifs. *Revue Afrique Agriculture*. N° 280. P30-23

Soltner, D. (2005). Les grandes productions végétales. 20ème. Ed. CCTA . Pp20-140.

Soltner. (2007) .les bases de la production végétales

Stallwood B., Shears J., Williams P.A., Hughes K.A. (2005). Low temperature bioremediation of oil-contaminated soil using biostimulation and bioaugmentation with a *Pseudomonas* sp. from maritime Antarctica. *J Appl Microbiol* 99: 794-802.

Tanji, K. K. 2004. Salinity in the soil environment. Chap 2, p 21-51. *In* A. Läuchli, et U. Lüttig (ed.), *Salinity : environment-plants-molecules*. Kluwer, Dordrecht. Netherlands.

Verslues P.; Agarwal M.; Katiyaragarwal S. and Zhu J., (2006) Methods and concepts in quantifying resistance to

Walsh U.F., Morrissey J.P., and O'Gara F. (2001). *Pseudomonas* for biocontrol of phytopathogens: from functional genomics to commercial exploitation. *Curr Opin Biotechnol* 12: 289-295.

Zahrn, H.H. (1997). Diversity, adaptation and activity of the bacterial flora in Saline

Zekri, M. (1993).Seedling emergence, growth, and mineral concentration of three citrus rootstocks under salt stress.*Journal of plant nutrition* 16(8): 1555-1568.

Zhu J.K. (2001).Plant salt tolerance.*Trends in Plant Sci.* 6: 66-71.

Zhu, J.K. (2007). Plant salt stress. *Encyclopedia of life sciences.* doi: 10.1002/9780470015902.a0001300.pub2.