



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



Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT SCIENCES AGRONOMIQUES

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par Berroubi Mohamed

DOMAINE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE (SNV)
FILIERE DES SCIENCES AGRONOMIQUES
OPTION : PROTECTION DES VEGETAUX

Thème

Biostimulation de la germination du blé dur (*Triticum durum* Desf) par les *Pseudomonas* spp. fluorescents sous stress abiotiques salin et calcaire

Jury de soutenance :

Me Ait salah. B
Mm Mallem. H
Mm Aneur. D
Mm Azouaou. K

Président
Examinateur
Encadreur
Co-Encadreur

Promotion : Novembre – 2020

Nom : Berroubi

Prénom : Mohamed

Encadreur : Ameer Djamila

Résumé

Thème : Biostimulation de la germination du blé dur (*Triticum durum* Desf) par les *Pseudomonas* spp. fluorescents sous stress abiotiques salin et calcaire.

Le blé constitue l'aliment de base et de choix depuis l'antiquité, et l'Algérie occupe la 5^{ème} place dans le classement mondial de consommation des céréales, la faiblesse de la production de blé en Algérie est souvent expliquée par l'influence des mauvaises conditions climatiques associées, notamment à la sécheresse, la température et la salinisation des sols

Notre objectif est d'apporter un plus dans la recherche d'une solution aux problèmes de stress abiotique rencontrer dans nos régions, surtout au niveaux du sol où le taux de sel et de calcaire est élevé, en exploitant des bactéries locales comme une alternative écologique et économique par rapport à la sélection traditionnelle ou la création variétale(OGM). La stratégie d'étude de ce travail consiste à mettre en évidence *in vitro* l'effet de deux souches de *Pseudomonas* spp. fluorescents isolées de la rhizosphère de deux plantes spontanées *Astragalus armatus* et *Tamarix gallica* sur la germination du blé dur (*Triticum durum*).

Les deux souches (T₃₂ et ASO₂) choisis pour étudier leur effet sur la bio stimulation de la germination de blé sous stress salin et calcaire, ont révélé une augmentation du taux de germination des graines presque 50%, que le témoin non bactérisé le taux le plus élevé est enregistré respectivement les souches Aso2 et T32 sous le stress salin et calcaire. ainsi qu'une amélioration très hautement significative des paramètre morphologiques (la longueur des racicules et la longueur des feuilles), ce qui a été confirmé par l'indice de vigueur

Mots clé : PGPR, *Pseudomonas* spp. fluorescents, NaCl et CaCO₃. germination. blé dur

ملخص

الموضوع: التحفيز الحيوي لإنبات القمح القاسي (*Triticum durum* Desf) بواسطة *Pseudomonas spp*.
الفلورسنت تحت الضغط للأحيائي

كان القمح هو الغذاء الرئيسي المفضل منذ العصور القديمة، وتحتل الجزائر المرتبة الخامسة في التصنيف العالمي لاستهلاك الحبوب، وغالبًا ما يفسر ضعف إنتاج القمح في الجزائر بتأثير الظروف المناخية السيئة المصاحبة، وخاصة الجفاف ودرجة الحرارة وملوحة التربة

هدفنا هو تحقيق ميزة إضافية في البحث عن حل لمشاكل الإجهاد الأحيائي التي نواجهها في مناطقنا، وخاصة على مستوى الأرض حيث يكون معدل الملح والحجر الجيري مرتفعًا، من خلال استغلال البكتيريا المحلية كبديل بيئي. واقتصادية مقارنة بالاختيار التقليدي أو إنشاء الأصناف (OGM) تتمثل استراتيجية الدراسة لهذا العمل في إظهار تأثير سلالات معينة من *Pseudomonas spp* في المختبر. الفلورية، على تنبت القمح الصلب (*Triticum durum*)

تم اختيار السلالتين T32 و ASO2 لدراسة تأثيرهما على التحفيز الحيوي لإنبات القمح تحت ضغط الملح والحجر الجيري، وأظهرت زيادة في معدل إنبات البذور بنسبة تقارب 50٪، وأن المواد غير البكتيرية تتحكم في معدل إنبات القمح. تم تسجيل أعلى السلالات على التوالي Aso2 و T32 تحت ضغط الملح والحجر الجيري. بالإضافة إلى تحسن كبير للغاية في المعلمات المورفولوجية (طول الجذور وطول الأوراق)، وهو ما أكدته مؤشر القوة

الكلمات الرئيسية: PGPR، *Pseudomonas spp* الفلورسنت، NaCl.CaCO3. إنبات. القمح الصلب

Family Name: Berroubi

First Name: mohamed

Supervisor: Ameer Djamila

Abstract

Theme: Biostimulation of durum wheat (*Triticum durum* Desf) germination by *Pseudomonas* spp. fluorescent

Wheat has been the staple food of choice since antiquity, and Algeria occupies the 5th place in the world ranking of cereal consumption, the weakness of wheat production in Algeria is often explained by the influence of poor climatic conditions associated, especially drought, temperature and soil salinization

Our objective is to bring a plus in the search for a solution to the problems of abiotic stress encountered in our regions, especially at ground level where the salt and limestone rate is high, by exploiting local bacteria as an ecological alternative. and economical compared to traditional selection or varietal creation (GMO). The study strategy for this work consists in demonstrating in vitro the effect of two strains of *Pseudomonas* spp. fluorescent, on sprouting durum wheat (*Triticum durum*).

The two strains (T32 and ASO2) chosen to study their effect on the bio-stimulation of wheat germination under salt and limestone stress, revealed an increase in the germination rate of seeds almost 50%, that the non-bacterial control the rate the higher is recorded respectively the strains Aso2 and T32 under the salt and limestone stress. as well as a very highly significant improvement in morphological parameters (the length of the radicles and the length of the leaves), which was confirmed by the vigor index

Keywords: PGPR, *Pseudomonas* spp. fluorescent, NaCl and CaCO₃. Germination. Hard wheat

Remerciement

Avant tout, nous remercions DIEU tout puissant,

*De nous avoir accordé la force, le courage, la
Volonté et la patience pour terminer ce
Travail.*

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

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

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

*Nous tenons à remercier aussi les
Membres du jury : ait saleh boubekker 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 que je
dédie :*

*A mon Père et ma très chère Mère que
nulle dédicace*

*Ne puisse exprimer mes sincères
sentiments, pour leur*

*Patience illimitée, leur encouragement
continu, leur aide, En témoignage de mon
profond amour et respect pour Leurs
grands sacrifices et a tout la famille.*

*À tous mes enseignants, du primaire
jusqu'à ce dernier examen.*

À tous mes amis

*Je dédie aussi ce mémoire à tous mes
collègues des scouts musulmans algériens*

Berroubi Mohamed

Résumé	I
Dédicace.....	II
Remerciement.....	III
Liste des tableaux.....	VI
Liste des figures.....	VII
Liste des abréviations.....	VIII
Introduction	1
Chapitre I : Synthèse bibliographique	
I.1 Notion de stress.....	3
I.1.1 Les stress abiotiques et leurs effets sur la plante.....	3
I.1.2 Stress abiotique.....	3
I.1.2.1 Stress salin.....	4
I.1.2.2 Stress thermique.....	5
I.1.2.3 Stress hydrique.....	5
I.1.3 Effets du stress salin.....	5
I.1.4 Mécanismes d'adaptation au stress salin	7
I.1.4.1 L'exclusion.....	7
I.1.4.2 L'inclusion.....	8
I.2 Présentation de <i>Pseudomonas</i>	8
I.2.1 Caractéristique générale.....	8
I.2.2 L'importance du genre <i>Pseudomonas</i>	9
I.2.3 Interactions de <i>Pseudomonas</i> spp. Fluorescents dans la rhizosphère.....	10
I.2.4 Les <i>pseudomonas</i> spp. Fluorescents agents de biocontrôle et de croissance des plantes.....	11
I.2.4.1 Les mécanismes directs.....	12
I.2.4.1.1 Fixation d'azote.....	13
I.2.4.1.2 Solubilisation des phosphates.....	13
I.2.4.1.3 Production de sidérophores.....	14
I.2.4.1.4 Synthèse de phyto-hormones.....	14
a. Acide Indole-3-acétique (AIA)	14
b. Cytokinines.....	15
c. Gibberellines.....	15
d. La 1-Amino-cyclopropane-1-carboxylate (ACC) désaminase.....	15
I.2.4.2 Mécanismes indirects.....	16
I.2.4.2.1 Compétition pour l'espace et les nutriments.....	16
I.2.4.2.2 Dénitrification.....	16
I.2.4.2.3 Les médiateurs de l'absorption de fer par les <i>Pseudomonas</i> spp. fluorescents.....	17
I.2.4.2.4 Les antibiotiques.....	17
a. Les phénazines.....	18
b. Phloroglucinols.....	19

c. Pyrolnitrine (PRN).....	19
d. Pyolutéorine (PLT).....	19
e. Mupirocine.....	20
f. Antibiotiques peptidique.....	20
g. Cyanure d'hydrogène.....	20
I.2.4.2.5. Enzymes extra cellulaire dégradant les parois fongiques.....	20
I.2.4.2.6. Résistance systémique induite ou ISR (Induced Systemic Resistance).....	21

Chapitre II : Matériel et méthodes

II. Matériel et Méthodes.....	22
II.1 Matériel biologique	22
1.1 Matériel végétal.....	22
1.2 Matériel bactérien	22
II.2 Préparation de la suspension bactérienne.....	22
II.3 Désinfections des graines.....	23
II.4 Bactérisation des graines	24
II-5 Dispositif expérimental randomisation totale	25
II.6 Paramètres étudiés.....	26
1)Taux de germination (TG).....	26
2)Longueur des racines et la longueur des feuilles.....	26
3)Indice de vigueur.....	26
II.4 Analyse statistique.....	27

Chapitre III : Résultats et discussion

III. 1 Résultats.....	28
III.1.1 Les résultats relatifs à l'essai de l'effet de calcaire et de la bactérisation	28
III.1.1 Effet de calcaire sur le taux de germination.....	28
a. Facteur 1 bactérisation.....	28
b. Facteur 2 concentration du calcaire.....	29
c. Interaction entre facteur bactérisation et le facteur concentration du calcaire.....	29
III.1.2. Effet du calcaire sur la longueur des racines.....	30
a. Facteur 1 bactérisation.....	30
b. Facteur 2 concentration du calcaire.....	31
c. Interaction entre facteur bactérisation et facteur concentration des racines.....	32
1.3. Effet du calcaire sur la longueur des feuilles.....	33
a. Facteur 1 bactérisation.....	33

b. Facteur 2 concentration du calcaire.....	33
c. Interaction entre facteur bactérisation et facteur concentration des feuilles.....	34
III.1.4. Effet de calcaire sur l'indice de vigueur	35
a. Facteur 1 bactérisation	35
b. Facteur 2 concentration du calcaire.....	36
c. Interaction entre facteur bactérisation et le facteur concentration du calcaire.....	37
III.1.2. Les résultats relatifs à l'essai de l'effet de salinité et de la bactérisation	38
2.1. Effet de la salinité sur le taux de germination	38
a. Facteur 1 bactérisation.....	38
b. Facteur 2 concentration du NaCl.....	39
c. Interaction entre facteur bactérisation et concentration du NaCl.....	40
2.2. Effet de la salinité sur la longueur des racines	41
a. Facteur 1 bactérisation	41
b. Facteur 2 concentration de NaCl.....	41
c. Interaction entre facteur bactérisation et le facteur concentration du NaCl.....	42
2.3. Effet de la salinité sur la longueur des feuilles.....	43
a. Facteur 1 bactérisation	43
b. Facteur 2 concentration du NaCl.....	43
c. Interaction entre facteur bactérisation et le facteur concentration du NaCl.....	44
2.4. Effet de salinité sur l'indice de vigueur.....	45
a. Facteur 1 bactérisation	45
b. Facteur 2 concentration du NaCl.....	46
d. Interaction entre facteur bactérisation et concentration NaCl.....	47
III.2 Discussion.....	48
Conclusion	52
Références bibliographiques	53
Annexe	60

Liste des tableaux

N° tableau	Titre	Page
Tableau 1	Origine des souches bactériennes	22

Liste des figures

N° figure		page
Figure 1	Représentation schématique décrivant les interactions plantes-microorganismes dans la rhizosphère.	12
Figure2	Schéma présentant la préparation des souches et la suspension bactérienne	23
Figure3	Schéma présentant la désinfection des graines de blé	24
Figure 4	Schéma présentant la bactérisation des graines de blé	24
Figure 5	photo présentant l'installation des graines dans le biote	25
Figure 6	Effet du Facteur bactérisation sur le taux de germination du blé dur	28
Figure 7	Effet du facteur concentration CaCO_3 sur le taux de germination du blé dur	29
Figure 8	Effet de l'interaction de facteur bactérisation et facteur concentration Sur le taux de germination du blé dur	31
Figure 9	Effet du facteur bactérisation sur la longueur des racines du blé dur	31
Figure 10	Effet du facteur concentration du CaCO_3 sur la longueur des racines du blé dur	32
Figure 11	Effet de l'interaction facteur bactérisation et facteur concentration Sur la longueur de racines	33
Figure 12	Effet du facteur bactérisation sur la longueur des feuilles.	34
Figure 13	Effet du facteur concentration du CaCO_3 sur la longueur des feuilles	35
Figure 14	Effet du facteur bactérisation et facteur concentration sur la longueur des feuilles	36
Figure 15	Effet du facteur bactérisation sur l'indice de vigueur	37
Figure 16	Effet du facteur concentration du CaCO_3 sur l'indice de vigueur	38
Figure 17	Effet de l'interaction facteur bactérisation et facteur concentration du calcaire sur l'indice de vigueur.	39
Figure 18	Effet du facteur bactérisation sur le taux de germination du blé dur	39

Liste des figures

Figure 19	Effet du facteur concentration NaCl sur le taux de germination du blé dur.	40
Figure 20	Effet de l'interaction de facteur bactérisation et facteur concentration sur le taux de germination du blé dur	41
Figure 21	Effet du facteur bactérisation sur la longueur des racicules.	42
Figure 22	Effet du facteur de concentration du NaCl sur la longueur des racicules.	42
Figure 23	Effet de l'interaction du facteur bactérisation et facteur de concentration de NaCl sur la longueur des racicules.	43
Figure 24	Effet du facteur bactérisation sur la longueur des feuilles	44
Figure 25	Effet du facteur concentration du NaCl sur la longueur des feuilles.	45
Figure 26	Effet d facteur bactérisation et concentration de NaCl sur la longueur des feuilles	45
Figure 27	Effet du facteur de bactérisation sur l'indice de vigueur	46
Figure 28	Effet du facteur de concentration de NaCl sur l'indice de vigueur.	46
Figure 29	Effet de l'interaction du facteur bactérisation et le facteur concentration NaCl sur l'indice de vigueur	47

Liste des abréviations

AIA :	Acide indole acétique.
HCN :	Acide cyanidrique
PGPR:	<i>Plant Growth Promoting Rhizobacteria</i>
U.F.C:	unity forming colony
NaCl :	Le chlorure de sodium
CaCO₃:	carbonate de calcium
Aso2 :	Code de Souche bacterienne
T32 :	Code de Souche bacterienne
TNB :	Témoin non bacterisé
King b :	Milieu de cultur
TG :	Taux de germination
IV :	Indice de vigueur
T :	Traitement

Introduction

Introduction

Le blé constitue l'aliment de base et de choix depuis l'antiquité. En effet, le blé dur occupe une place très privilégiée en fournissant plus de 60% de l'apport calorique et 15 à 20% de l'apport protéique, Son débouché principal c'est l'alimentation humaine (fabrication des semoules, couscous, pain et pâtes), le reste est utilisé pour l'alimentation animale (bétail) et l'industrie (amidon) (Zegrari, 2014).

L'Algérie occupe la 5^{ème} place dans le classement mondial de consommation des céréales (Djermoun, 2009). La surface consacrée à la culture du blé est de $1,5 \times 10^6$ ha sur les $3,10 \times 10^6$ ha réservés à la céréaliculture. La production ne couvre pas les besoins de la population en croissance démographique et selon le conseil International des céréales (C.I.C, 2000), l'Algérie a importé au cours des années (1990-2000) plus de 65% du blé dur destiné à l'Afrique du Nord.

La faiblesse de la production de blé en Algérie est souvent expliquée par l'influence des mauvaises conditions climatiques associées, notamment à la sécheresse, la température et la salinisation des sols qui se fait ressentir de manière très importante depuis la dernière décennie. En réalité, cette culture étant dépendante beaucoup plus de son environnement, ces conditions climatiques représentent les principaux facteurs limitant la croissance des plantes ainsi que la productivité des cultures céréalières par une perte partiel ou totale, du moment que 60% de la superficie réservée aux céréales se situe dans les zones arides et semi-arides qui se caractérisent par une forte irrégularité des précipitations et de fortes températures sur une grande partie de l'année ainsi qu'une terre salée. Plusieurs études ont montré que, face à un stress abiotique, les plantes étant un organisme sessile, adoptent des stratégies d'acclimatation et de tolérance qui diffèrent en fonction de l'espèce et des conditions du milieu et qui font intervenir une large combinaison et de modification des facteurs morphologiques, physiologique, biochimique et moléculaire. Ces modifications sont régies par tout un assortiment de gènes, dont l'expression résulte en des changements dans les programmes transrationnels, conduisant à l'expression et la synthèse de nouvelles protéines (Bhargava et Sawant, 2013).

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 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 « bioremédiation » (Stallwood *et al.*, 2005).

Notre objectif est d'apporter un plus dans la recherche d'une solution aux problèmes de stress abiotique rencontrer dans nos régions, surtout au niveaux du sol où le taux de sel et de calcaire est élevé, en exploitant des bactéries locales comme une alternative écologique et économique par rapport à la sélection traditionnelle ou la création variétale(OGM). La stratégie d'étude de ce travail consiste à mettre en évidence *in vitro* l'effet de deux souches de *Pseudomonas* ssp. fluorescentes isolées respectivement de la rhizosphère de deux plantes spontanées *Astragalus armatus* et *Tamarix gallica* L de certaines régions arides et semi-arides, sur la germination du blé dur (*Triticum durum*).

Synthèse bibliographique

I.1 Notion de stress

Le terme « stress » définit l'ensemble des perturbations biologiques provoquées par une agression quelconque sur un organisme. C'est un processus qui induit une contrainte potentiellement néfaste sur un organisme vivant. En revanche ce terme lorsqu'il est utilisé en biologie végétale, a des connotations particulières, il représente le (s) facteur(s) responsable(s) des perturbations, et des changements, plus ou moins brusque par rapport aux conditions normales de la plante subie au cours de son développement (Bouchoukh, 2010).

I.1.1 Les stress abiotiques et leurs effets sur la plante

Sous les conditions de production des principales zones céréalières algériennes, notamment celles des hauts plateaux, la plante est le plus souvent soumise à une série de contraintes de nature abiotique. Les plus importantes de ces contraintes, suite aux rôles majeurs qu'elles jouent dans les fonctions essentielles de la plante, sont la variation de la précipitation, de la température, de l'humidité du sol, et de la salinité, ces stress se traduisent chez les plantes par des changements morphologiques, physiologiques et moléculaires qui affectent leur mode de vie (Benkoli et bouzeghaia 2016).

Le stress signifie la déviation dans le développement et les fonctions normaux de la physiologie des plantes, il est perçu au niveau cellulaire puis transmis à la plante entière. Le changement dans l'expression des gènes qui s'ensuit modifie la croissance et le développement, et influence les capacités reproductives de la plante, causant ainsi des dommages aux plantes. (Benkoli et Bouzeghaia, 2016) La plante accomplit le retour à la stabilisation et les réactions de répartition par un réajustement d'états adaptés et le maintien de grands pouvoirs de résistance, qui font tous appel à une énergie additionnelle et métabolite.

I.1.2 Stress abiotique

Les facteurs abiotiques sont ceux liés à l'action du non-vivant sur le vivant ils sont dû principalement à des facteurs environnementaux (Izzar et Meziani, 2015), susceptibles de déclencher des modifications dommageables, provoquant ainsi chez une espèce végétale une augmentation du taux de mortalité de la population. En effet les plantes se trouvent rarement dans des conditions environnementales optimales, elles se trouvent souvent dans des conditions extrêmes qui amènent les organismes à la limite de la survie. Un stress peut

l'être pour une plante sans l'être pour une autre. Des facteurs comme l'âge sont importants et avec le réchauffement climatique, la pression exercée par certains stress augmentera très certainement.

I.1.2.1 Stress salin

La salinité est définie selon plusieurs chercheurs comme étant la présence de processus pédologique selon lequel le sol s'enrichit anormalement en sels solubles acquérant ainsi un caractère salin, C'est un facteur environnemental très important qui limite la croissance et la productivité. La salinité élevée des sols due essentiellement au chlorure de sodium affecte le tiers des terres à l'échelle mondiale et constitue un facteur limitant prépondérant de la production végétale. La salinité se rencontre en de nombreuses zones arides et semi arides du bassin méditerranéen (Drevon *et al.*, 2001). En Algérie les facteurs qui contribuent à l'extension du phénomène de salinisation des terres sont liés à : l'aridité du climat qui porte sur plus de 95% du territoire, la qualité médiocre des eaux d'irrigation, le système de drainage souvent inexistant ou non fonctionnel et la conduite empirique des irrigations, Le fort ensoleillement et la faible pluviométrie font accumuler les sels dissous en surface. Ces accumulations transforment profondément les propriétés physique et chimique du sol avec pour conséquence principale un milieu qui devient non productif voir stérile, Le sol est alors colonisé d'une manière plus au moins dense par des peuplements de plantes halophytes (Drevon et al 2001).

I.1.2.2 Stress thermique

Pour effectuer sa croissance et son développement, chaque plante exige une gamme bien particulière de températures. Chaque plante possède une température optimale de croissance et de développement, Lorsque la température avoisine ses limites, la croissance diminue et au-delà, elle s'annule (Haichour, 2009).

Le stress thermique est souvent défini quand les températures sont assez hautes ou basses pendant un temps suffisant pour qu'elles endommagent irréversiblement la fonction ou le développement des plantes. Elles peuvent être endommagées de différentes manières, soit par des températures basses ou élevées de jour ou de nuit, par l'air chaud ou froid ou par les températures élevées du sol. La contrainte thermique est une fonction complexe qui varie selon l'intensité (degré de la température), la durée et les taux d'augmentation ou de diminution de la température (Oukarroum, 2007).

On appelle températures critiques, les températures minima et maxima au-dessous et au-dessus desquelles le végétal est tué. Elles sont extrêmement variables suivant les espèces et selon le stade de végétation (Diehl, 1975).

I.1.2.3 Stress hydrique

Selon Mouellef (2010), La notion de stress hydrique ou sécheresse renvoie en réalité le plus souvent à de nombreuses définitions :

- ❖ En météorologie, la sécheresse est une absence prolongée, voire une faible distribution, des précipitations, en relation avec une valeur dite normale.

En hydrologie, on parle de sécheresse dès lors qu'à l'échelle régionale la hauteur des pluies est inférieure à la moyenne saisonnière, ce qui se traduit par un approvisionnement insuffisant des cours d'eau et des réserves d'eau superficielles ou souterraines.

- ❖ En agriculture, Le stress hydrique peut se définir comme le rapport entre la quantité d'eau nécessaire à la croissance de la plante et la quantité d'eau disponible dans son environnement, La demande en eau de la plante est quant à elle déterminée par le niveau de transpiration ou évapotranspiration.

En effet, on assiste à un stress hydrique lorsque la demande en eau dépasse la quantité disponible pendant une certaine période de sécheresse (Kara et Zerguine, 2016), où la plante est placée dans un environnement qui amène à ce que la quantité d'eau transpirée par la plante soit supérieure à la quantité qu'elle absorbe.

L'installation d'une sécheresse se manifeste par la combinaison d'une part, de la restriction de la disponibilité en eau du sol et, d'autre part, de l'augmentation d'évaporation. Le manque d'eau, déficit hydrique ou la sécheresse représente le stress abiotique le plus sévère, auquel la culture du blé dur fait face dans les conditions de productions des zones arides et semi- arides (Chennafi *et al.*, 2006).

I.1.4 Effets du stress salin

La salinité constitue l'un des principaux stress abiotiques limitant la croissance et le développement de la plante cultivée (Abdelly *et al.*, 2008). Cette salinité peut être naturelle ou induite par les activités agricoles comme l'irrigation ou l'utilisation de certains types d'engrais. Par ailleurs, la salinité est un facteur environnemental très important qui affecte : la réduction du nombre des feuilles, la conductance et la résistance stomatique (Rejeb *et al.*,

1991), la synthèse des protéines, le métabolisme énergétique et la photosynthèse. La présence de NaCl dans le milieu de culture limite l'alimentation de la plante en cations majeurs, tels que le potassium (K^+) et le calcium (Ca^{++}) (Zid et Grignon, 1991). La réduction de la chlorophylle est corrélée avec l'accumulation du Cl^- dans les tissus. De plus la salinité impose à la plante une réduction de l'absorption des ions essentiels tels que le K^+ et Ca^{++} , conduisant à un déséquilibre ionique (Zhu, 2001). Ca^{++} est nécessaire pour le maintien de la sélectivité et l'intégrité de la membrane cellulaire, d'où un déficit en Ca^{++} affecte la sélectivité de la cellule et l'intégrité de la membrane, accélérant le passage passif des ions Na^+ et leur accumulation dans les tissus (Cramer, 2002). Cependant Les effets nutritionnels de la salinité incluent les deux actions primaires du sel sur les plantes : la toxicité directe due à l'accumulation excessive des ions dans les tissus et un déséquilibre nutritionnel provoqué par l'excès de certains ions. Les plantes produisent des espèces réactives à l'oxygène, nommés ROS (radicaux superoxide (O_2^-), peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), et radicaux hydroxyle (OH) en réponse à un stress salin. Ceci cause d'importants dommages dans des lipides membranaires, des protéines et acides nucléiques. La genèse de ROS dans une plante soumise aux contraintes salines a pour origine à un dysfonctionnement des métabolismes photosynthétique et respiratoire. Ainsi, une réduction de la photosynthèse suite à une fermeture des stomates conduit à une diminution de la teneur en eau, réduisant les possibilités de piégeage de l' O_2 par les systèmes antioxydants couplés à la photosynthèse (Hsu et Kao, 2004).

D'autres auteurs, signalent que le stress salin a pour effet immédiat de limiter la croissance en inhibant la croissance foliaire par des messages hormonaux partant des racines en directions des feuilles. L'hormone impliquée est probablement l'acide abscissique. La salinité provoque le plus souvent un retard dans le développement, D'une manière générale ; la croissance en longueur, le diamètre des tiges et la grosseur des fruits diminuent d'une façon importante avec l'augmentation de la salinité (Boukachabia, 1993). Une forte 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 et à celui du sol. Ce phénomène assure d'une part, la poursuite de l'absorption de l'eau du sol, et d'autre part, la rétention de l'eau intracellulaire et le maintien de la turgescence. Lorsque l'ajustement osmotique est insuffisant, l'eau a tendance à quitter les cellules, ce qui provoque un déficit hydrique et la perte de la turgescence. Sous les conditions salines il y'a un

changement dans le modèle d'expression des gènes, et des changements qualitatifs et quantitatifs dans la synthèse des protéines (Agastian *et al.*, 2000)

Le degré de sensibilité au stress salin dépend aussi 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 (Munns *et al.*, 2006).

I.1.5 Les mécanismes d'adaptation au stress salin

La tolérance à la salinité représente la capacité de la plante à maintenir la croissance sous conditions salines. Pour réaliser cela, la plante doit posséder des mécanismes pour tolérer la salinité (Mahajan et Tuteja, 2008). En ce qui concerne la tolérance des céréales à la salinité, celles-ci dépendent de la variabilité génétique telle que certaines espèces qui résistent à ce type de stress abiotique que d'autres. Particulièrement l'effet toxique des sels est moins prononcé chez le blé tendre que chez le blé dur (Munns, 2007).

La tolérance à la salinité n'est pas un mécanisme qui est présent ou absent, c'est plutôt un phénomène qui prend différents degrés d'expression, variables selon les géotypes et les conditions de croissance. La conséquence est une large variabilité de réponses chez les plantes soumises au stress salin et les différents mécanismes utilisés par les plantes pour tolérer le stress salin sont décrits comme suit :

I.1.5.1 L'exclusion

La plante empêche le sel de remonter jusqu'aux feuilles. Une première barrière existe au niveau de l'endoderme, couche interne de cellules de la racine, la tolérance à la salinité est associée à l'exclusion de l'ion Na^+ (Alberico et Cramer, 1993). L'exclusion n'est, cependant, pas toujours synonyme de tolérance au stress salin. En effet certains géotypes, sensibles au stress salin, accumulent fortement moins d'ions Na^+ dans la tige comparativement aux géotypes tolérants (Zerroumda, 2012). Ainsi ont noté qu'un géotype de maïs tolérant le stress salin accumule l'ion Na^+ à un rythme qui est le double de celui noté chez le géotype sensible (Cramer *et al.*, 1994).

I.1.5.2 L'inclusion

Les ions chlorures et sodium pénètrent les plantes par les racines et sont véhiculés par le xylème vers les tiges et les feuilles, à ce niveau ils sont stockés et il s'agit de plante de type « includers » (Gaid, 2015). Cette stratégie « inclusion » caractérise le fait de favoriser le stockage du sodium dans les feuilles en préservant le méristème apical. L'inclusion et la compartimentation est la stratégie la plus efficace pour éviter la toxicité de Na⁺ sur des sites métaboliques dans le cytoplasme (Jebnune, 2008), La plante utilise en effet le sel pour ajuster la pression osmotique de ses cellules. Elle capte le sel qui parvient aux feuilles, au même titre que l'eau, par le mouvement ascendant de la sève dans les vaisseaux. A l'intérieur des cellules, le sel est alors stocké dans les vacuoles grâce à des systèmes de "pompes" moléculaires. Les vacuoles étant des compartiments fermés au sein de la cellule, le sel est ainsi isolé des constituants cellulaires vitaux (Sentenac et Berthomieu, 2003).

I.2 Présentation de bactérie *Pseudomonas*

I.2.1 Caractéristique générale

Le genre *Pseudomonas* est le groupe le plus hétérogène écologiquement significatif de bactéries connues, et comprend des bâtonnets aérobies Gram-négatives (Palleroni, 2008). Elle est constituée d'une membrane externe et d'un espace péri plasmique et du Peptidoglycane. La membrane externe est une bicouche asymétrique constituée du lipopolysaccharide (LPS) et de phospholipides (PL) où se trouvent de nombreuses protéines telles que les porines qui assurent la diffusion de divers types de molécules à travers la membrane externe (Pages, 2004), qui sont largement répandues dans la nature et caractérisées par une polyvalence élevée du métabolisme, grâce à la présence d'un système enzymatique complexe. Les exigences nutritionnelles de *Pseudomonas* sp. sont très simples, et le genre se retrouve dans des habitats naturels comme le sol, l'eau douce, au mer, etc. (Franzetti et Scarpellini, 2007).

Certains membres du genre *Pseudomonas* appartiennent aux Gamma-Protéobactéries. Ce groupe en globe la majorité des espèces de bactéries phytopathogènes importants et des agents porteurs d'infections humaines, alors que d'autres souches et espèces sont responsables des activités de bioremédiation et de contrôle biologique (Pages, 2004 ; Tripathy *et al.*, 2006)

Le genre *Pseudomonas* appartient à la famille des Pseudomonaceae, il comprend une soixantaine d'espèces. Plusieurs études ont souligné le haut degré de diversité au sein de *Pseudomonas* fluorescents, ce qui a mené à la subdivision de cette espèce en différentes biovars. Le groupe de *Pseudomonas* se compose de bactéries sous forme de bâtonnets, Gram négatifs, mobiles par ciliature polaire (sauf *Pseudomonas mallei*), non sporulant, elles sont aérobies obligatoires. Les *Pseudomonas* ont un métabolisme mésophile et chimio-organotrophe, peu exigeantes, et incapable de fermenter le glucose, se caractérisent par la pluralité des substances hydrocarbonées utilisées comme source de carbone et d'énergie, produisant des pigments, la plupart étant saprophytes et pouvant coloniser les cellules corticales mortes des racines (Cook *et al.*, 1996). Les membres du genre *Pseudomonas* présentent une polyvalence métabolique et physiologique remarquable. Les *Pseudomonas* ont un grand intérêt en raison de leur rôle dans les maladies végétales et humaines et de leur potentiel croissant dans les applications biotechnologiques (Mena *et al.*, 2009).

I.2.2 L'importance du genre *Pseudomonas*

Les bactéries du genre *Pseudomonas* occupent la plupart des environnements naturels. Elles sont isolées de l'eau, du sol et des végétaux. Elles présentent un fort potentiel d'adaptation physiologique et génétique et sont capables d'utiliser une grande variété de nutriments (Talon *et al.*, 2006). 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. C'est notamment le cas de souches de *P. fluorescents*, décrites comme des bactéries phytoprotectrices jouant un rôle prépondérant dans le biocontrôle de la rhizosphère (Walsh *et al.*, 2001). D'autres espèces sont des pathogènes pour les plantes, comme l'espèce *P. syringae* qui compte au moins 37 pathovars capables d'infecter de nombreuses espèces de végétaux (Sawada *et al.*, 2002).

Différentes espèces de *Pseudomonas* spp. fluorescents ont été rapportés à la fois comme PGPR (*plant growth promoting rhizobactéria*), et comme souches de biocontrôle des champignons phytopathogènes (de Salmone *et al.*, 2001), *P. putida* (Scher et Baker, 1980), *P. aeruginosa* (Bano et Musarrat, 2003), *P. chlororaphis* (Chin-A-Woeng *et al.*, 1998).

Différentes espèces de *Pseudomonas* spp. fluorescents ont été rapportés à la fois comme PGPR (plant growth promoting rhizobactéria), et comme souches de biocontrôle des champignons phytopathogènes (de Salmone *et al.*, 2001). 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 (Digat et Gardan, 1987). D'où leur application comme agents de contrôle biologique grâce à leurs abondances dans les sols naturels et les racines des plantes (Sands et Rovira, 1971). Ces bactéries sont d'excellents compétiteurs vis-à-vis de la microflore fongique et bactérienne du sol par leur temps de génération *in situ* relativement court (Garbaye, 1994), leur capacité à utiliser les exsudats de plantes comme nutriments (Lugtenberg *et al.*, 2002), et à chélater les ions ferriques (Garbaye, 1994).

Les *Pseudomonas* spp. fluorescents sont connus pour leurs aptitude d'adhésion aux particules du sol et au rhizoplan, mais sont aussi mobiles et prototrophes (de Weger *et al.*, 1994), produisent des antibiotiques (Garbaye, 1994 ; Natsch *et al.*, 1994), et des enzymes hydrolytiques (Lim *et al.*, 1991 ; Neilsen *et al.*, 1998 ; Neilsen et Sorensen, 1999).

Les *Pseudomonas* spp. sont capables de dégrader de 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 « bioremédiation » (Stallwood *et al.*, 2005).

I.2.3 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 al.*, 2010). Elles sont connues comme promotrices de la nutrition et la croissance des plantes par la 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).

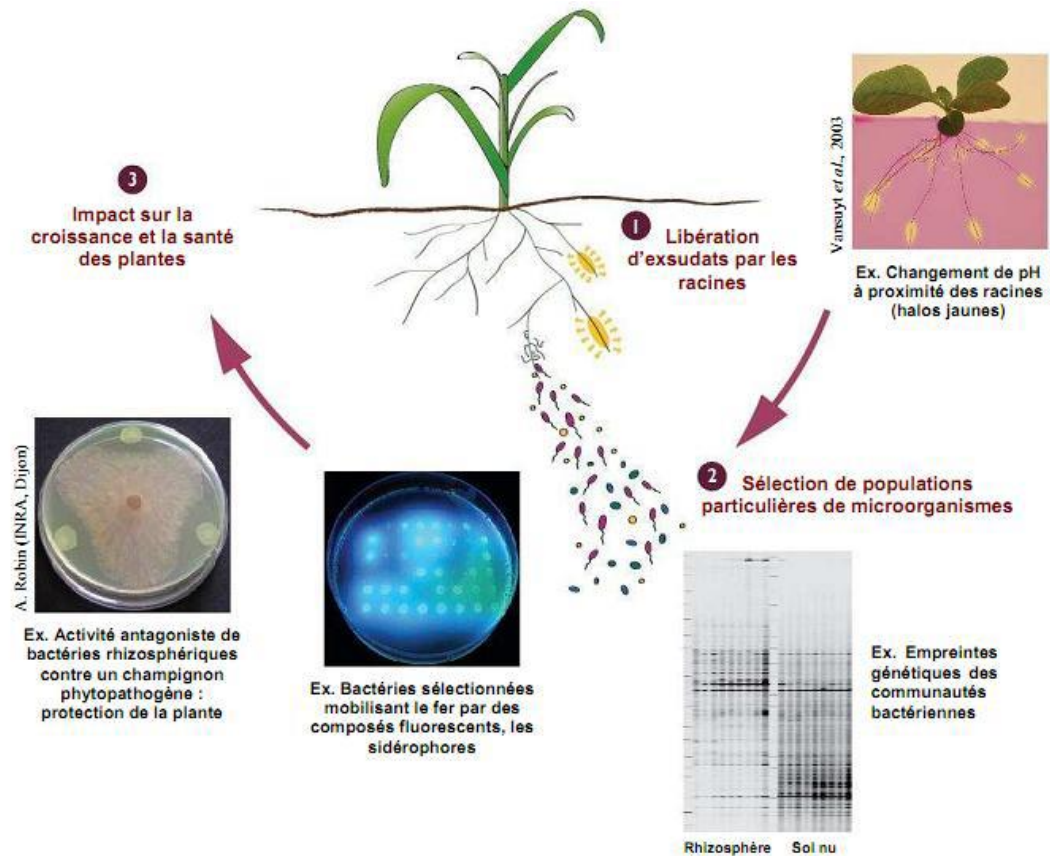
Différents mécanismes ont été avancés pour expliquer les effets bénéfiques de *Pseudomonas* spp. fluorescents. Ces bactéries s'attachent d'abord à la racine et sont donc

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).

I.2.4 Les *Pseudomonas* spp. fluorescents agents de biocontrôle et de croissance des plantes

Les *Pseudomonas* spp. fluorescents saprophytes sont les habitants type des sols agricoles et la rhizosphère des plantes, et sont impliqués dans de nombreuses interactions avec les plantes (Schroth *et al.*, 1992). Ces bactéries sont considérées comme des composés biologiques du sol agricole, et sont responsables de la suppression des maladies fongiques dans les cultures. Ces *Pseudomonas* diminuent la sévérité de la maladie et stimulent la croissance des plantes comme le riz (Sakthivel et Gnanamanickam, 1987), le blé (Weller et Cook 1983), la pomme de terre (Kloepper *et al.*, 1980), la canne à sucre (Suslow et Schroth, 1982), le radis (Kloepper et Schroth, 1978), le coton (Howell et Stipanovic, 1980) et le manioc (Hernandez *et al.*, 1986).

Les capacités antagonistes et PGPR des *Pseudomonas* spp. fluorescents, sont dues à des mécanismes directs et indirects (Fig.2).



(Source Lemanceau *et al.*, 2006).

Figure1. Représentation schématique décrivant les interactions plantes-microorganismes dans la rhizosphère.

I.2.4.1 Mécanismes directs

Les espèces de *Pseudomonas* affectent la croissance des plantes en améliorant leur alimentation minérale (Tilak *et al.*, 2005). Concernent, la séquestration du fer pour les plantes par les sidérophores, la production de phytohormones ou encore par solubilisation de formes de phosphore insolubles, rendant ainsi le phosphore biodisponible (Salisbury, 1994), et diminuer les taux d'éthylène produits par la plante (Glick, 1995 ; Glick *et al.*, 1999).

Ces bactéries sont capables d'induire une résistance systémique contre un pathogène donné, et porte le nom d'ISR (van Loon *et al.*, 1998 ; Pieterse *et al.*, 2001). Il est également reconnu que des bactéries de la mycorrhizosphère, encore appelées bactéries auxiliaires de la mycorhization, stimulent sélectivement l'établissement de la symbiose ectomycorhizienne (Garbaye, 1994).

I.2.4.1.1 Fixation d'azote

Parmi les éléments nutritifs nécessaires, celui qui est le plus souvent limitant pour la croissance des plantes est l'azote. La majeure partie de cet élément se trouve sous forme d'azote gazeux (N₂) inaccessible aux animaux et aux plantes (Pujic et Normand, 2009). La fixation biologique de l'azote relève uniquement du domaine des procaryotes grâce à la nitrogénase, une enzyme catalysant la réduction de l'azote atmosphérique en ammoniac (Weyens *et al.*, 2010). Quelques bactéries fixatrices d'azote sont libres dans la rhizosphère (e.g. *Achromobacter*, *Acetobacter*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Azomonas*, *Bacillus*, *Beijerinckia*, *Clostridium*, *Corynebacterium*, *Derxia*, *Enterobacter*, *Herbaspirillum*, *Klebsiella*, *Pseudomonas*, *Rhodospirillum*, *Rhodopseudomonas* et *Xanthobacter*) (Tilak *et al.*, 2005).

Enfin, certaines populations de *Pseudomonas* spp fluorescents ont la possibilité de dissimiler l'azote (Clays-Josserand *et al.*, 1995). Cette dissimilation est plus ou moins complète selon le groupe taxinomique considéré (Matsubara et Zumft, 1982).

I.2.4.1.2 Solubilisation des phosphates

Après l'azote, le phosphore est l'élément le plus limitant pour les plantes qui sont capables seulement d'absorber ses formes solubles mono- et dibasiques (H₂PO₄⁻, HPO₄²⁻) (Ramos Solano *et al.*, 2008b ; Keneni *et al.*, 2010). *Azotobacter chroococcum*, *Bacillus* spp. *Bradyrhizobium* spp. *Enterobacter agglomerans*, *Pseudomonas putida* et *Rhizobium* spp. Sont des exemples de bactéries rhizosphériques solubilisant le phosphate inorganique en produisant de l'acide gluconique et l'acide 2- céto gluconique (Khan *et al.*, 2009).

Elles sont aussi capables de minéraliser le phosphate organique par l'excrétion des enzymes extracellulaires telles les phosphatases, les phytases et C-P lyases (Weyens *et al.*, 2010)

Les bactéries solubilisant le phosphate sont communes dans la rhizosphère, cette dernière étant le siège de nombreuses interactions entre les plantes et les divers microorganismes associés. La sécrétion d'acides organiques et de phosphatases facilitent la conversion de formes insolubles de phosphore en formes disponibles pour les plantes (Kim *et al.*, 1998 ; Richardson, 2001). Les espèces de *Pseudomonas* spp. fluorescents comme *P. chlororaphis*, *P. putida* et *P. aeruginosa* ont été identifiés comme rhizobactéries solubilisant le phosphate (Cattelan *et al.*, 1999; Bano et Musarat, 2003).

I.2.4.1.3 Production de sidérophores

Le fer est un élément capital aussi bien pour les bactéries que les champignons et les plantes. Il est abondant dans le sol et se présente sous forme d'oxydes de fer (Fe^{3+}) (Compant *et al.*, 2005), mais il demeure souvent un facteur limitant pour la croissance des bactéries et des plantes. La plupart des microorganismes ont donc développé un mécanisme hautement spécifique afin de l'assimiler via la production de sidérophores. Ce sont des substances de faible poids moléculaire et servant de transporteur de l'ion ferrique Fe^{3+} à l'intérieur de la cellule microbienne (Jacques *et al.*, 1993). *Agrobacterium*, *Bacillus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas*, *Rhizobium* et de nombreux champignons sont capables de produire ces composés chélateurs de fer (Zahir *et al.*, 2004). Les sidérophores de bactéries rhizosphériques peuvent influencer directement l'alimentation de la plante en fer, comme ils peuvent le rendre ainsi non disponible pour les champignons pathogènes (O'sullivan et O'gara, 1992). Ils jouent également le rôle de chélateurs de métaux rhizosphériques ayant une faible disponibilité pour les plantes tels le Zn et Pb (Dimkpa *et al.*, 2009).

I.2.4.1.4 Synthèse de phytohormones

La stimulation du métabolisme hormonal de la plante via la sécrétion de phytohormones telles les auxines, les cytokinines et les gibbérellines favorisent le développement racinaire et par conséquent la croissance végétale (Sandhya *et al.*, 2010).

a. Acide Indole-3-acétique (AIA)

Cette phytohormone est impliquée dans l'initiation de la division des cellules au niveau des racines, et de leurs élargissements (Salisbury, 1994). Communément produite par les rhizobactéries (Barazani et Friedman, 1999). 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 *P. putida*, chez la plante hôte, dans le développement de son système racinaire. D'autre part, la production de l'acide indole-3-acétique (AIA) par *Pseudomonas putida* GR12-2 améliore le rendement du colza (Patten et Glick, 2002).

b. Cytokinines

Les cytokinines forment une classe de phytohormones qui stimulent les divisions cellulaires, l'élargissement et le développement des tissus (Salisbury, 1994). Ce sont des signaux impliqués dans la médiation du stress environnemental des racines vers les parties supérieures de la plante. La production de cytokinines a été rapportée chez *P. fluorescens* (Garcia *et al.*, 2001).

d. Gibberellines

Les gibbérellines sont synthétisées par les plantes supérieures, les champignons et les bactéries ; ce sont des acides diterpénoïques constitués de résidus isopréniques. Un nombre important (136) de gibbérellines différentes est identifié et caractérisé. Elles affectent la division et l'allongement cellulaires et sont impliquées dans plusieurs de développement tels que la germination des graines, la floraison, la fructification et le retard de la sénescence dans de nombreux organes d'une large gamme d'espèces végétales (Yaxley *et al.*, 2001 ; MacMillan, 2002).

Les gibbérellines sont également impliquées dans la promotion de la croissance de la racine car elles régulent l'abondance des poils racinaires (Bottini *et al.*, 2004). La capacité des bactéries à synthétiser des substances de gibbérellines été initialement décrite chez *A. brasilense* (Tien *et al.*, 1979) et rhizobium (Williams et De Mallorca, 1982) puis chez différents genres bactériens qui peuplent le système racinaire de la plante, y compris *Azotobacter*, *Arthrobacter*, *Azospirillum*, *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Acinetobacter*, *Flavobacterium*, *Micrococcus*, *Agrobacterium*, *Clostridium*, *Burkholderia* et *Xanthomonas* (Mitter *et al.*, 2002 ; Tsakelova *et al.*, 2006 ; joo *et al.*, 2009).

c. La 1-Amino-cyclopropane-1-carboxylate (ACC) désaminase

L'éthylène est la seule phytohormone gazeuse. Il est connu pour être l'hormone 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 précurseur immédiat de l'éthylène. L'AAC-désaminase diminuerait la production d'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 à 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 racine (Shah *et al.*, 1998). Cette stimulation de la croissance est aussi exprimée dans des situations de stress, tels que les inondations (Grichko et Glick, 2001), ou encore dans les sols contaminés par les métaux lourds (Burd *et al.*, 1998 ; Belimov *et al.*, 2001).

I.2.4.2 Mécanismes indirects

Les mécanismes indirects utilisés par les *Pseudomonas* spp. fluorescents, comprennent la production d'antibiotiques contre des agents pathogènes (Thomashow *et al.*, 1990), la réduction de fer disponible pour les phytopathogènes présents dans la rhizosphère (Scher et Baker, 1982), la synthèse d'enzymes dégradant les paroi cellulaires fongiques et la compétition avec les microorganismes délétères pour les niches sur la plante

I.2.4.2 .1 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). Le PGPR doit être 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, les autres propriétés renforçant la colonisation racinaire sont la mobilité (présence d'un flagelle), le chimiotactisme, les lipopolysaccharides (LPS), la capacité de synthétiser des vitamines et des macromolécules et la faculté d'utilisation des composés excrétés par les racines (Lugtenberg et Kamilova, 2009).

I.2.4.2 2 Dénitrification

La dénitrification est un processus microbien dans lequel les oxydes d'azote sont utilisés comme accepteurs finaux d'électrons, pour la production d'énergie en absence d'oxygène. La dénitrification est composée de quatre réactions par lesquelles les nitrates

sont réduits en di nitrogène (N₂), par des métallo-enzymes comme la nitrate réductase, nitrite réductase, oxyde nitrique réductase, et l'oxyde nitreux réductase. Les *Pseudomonas* spp. fluorescents sont les dénitrifiants les plus communs des sols des régions tempérées (Gamble *et al.*, 1977). Les *Pseudomonas* spp. fluorescents sont capable de s'adapter aux manque d'oxygène par l'utilisation des oxydes d'azote comme accepteurs alternatifs d'électrons (Stewart, 1988). La respiration sur nitrate et la réduction des nitrites sont impliquées dans la compétition des souches modèles de *Pseudomonas* spp. fluorescents dans le sol (Philippot *et al.*, 1995 ; Ghiglione, 2000).

I.2.4.2.3 Les médiateurs de l'absorption de fer par les *Pseudomonas* spp. fluorescents

La majorité des espèces de *Pseudomonas* spp. fluorescents produisent des sidérophores. Un nombre important d'espèces de plantes peuvent assimiler les complexes Fe³⁺- sidérophore bactériens (Becker et Cook, 1988 ; Loper, 1988 ; Bitter *et al.*, 1991). Les sidérophores jaunes-verts sont només pyoverdines (PVDs) ou pseudobactines (Budzikiewicz, 1997). A côté de la PVD, *P. aeruginosa* produit un autre sidérophore nommé pyocheline avec une affinité plus faible pour le Fe³⁺ (Cox *et al.*, 1981). Les espèces de *Pseudomonas* spp. fluorescents produisent aussi la pseudomonine (isoxazolidone) comme *P. fluorescens*, *P. stutzeri* et *P. putida* (Lewis *et al.*, 2000; Mossialos *et al.*, 2000; Mercado-Blanco *et al.*, 2001).

Les espèces de *Pseudomonas* fluorescents ont un grand pouvoir de chélation du fer et pourraient rendre l'ion ferrique inaccessible aux autres microorganismes. Elles peuvent aussi reconnaître et utiliser les sidérophores produits par d'autres souches, alors que ces dernières ne sont pas capables d'utiliser le sidérophore qu'elles produisent (Mercado-Blanco et Bakker, 2007).

I.2.4.2 .4 Les antibiotiques

L'antibiose consiste en une inhibition directe de la croissance du pathogène via la production de métabolites aux propriétés antifongiques et/ou antibiotiques. Les souches de *Pseudomonas* produisent une variété de métabolites antifongiques puissants impliquées dans le biocontrôle, par exemple l'acide cyanhydrique (HCN), la viscosamide, la pyolutéorine, le 2,4-diacetylphloroglucinol (DAPG), la pyrrolnitrine, les phénazines, les butyrolactones, les

tensines et les tropolones (Defago, 1993 ; de Souza *et al.*, 2003 ; Haas et Defago 2005). 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 (Whippes, 2001).

a. Les phénazines

Les phénazines sont des pigments hétérocycliques azotés intensément colorés, produits par différentes souches bactériennes (Leisinger et Margraff 1979 ; Budzikiewicz, 1993 ; Stevans *et al.*, 1994). Ces hétérocycles expriment un large spectre d'activité sur les bactéries et les champignons (Smirnov et Kiprianova, 1990). Les phénazines jouent aussi un rôle dans la compétition rhizosphérique, incluant la survie et la compétence des bactéries productrices (Mazzola *et al.*, 1992).

La phénazine-1-carboxylate (PCA), a été rapporté chez les *Pseudomonas* spp. fluorescents, comme *P. fluorescens* (Gurusiddaiah *et al.*, 1986), *P. chlororaphis* (Pierson et Thomashow, 1992) et *P. aeruginosa* (Anjaiah *et al.*, 1998).

L'efficacité de la PCA a été démontré contre un nombre de champignons phytopathogènes comme *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*, *Pythium* sp., *Polyporus* sp., *Rhizoctonia solani*, et les bactéries pathogènes comme *Actinomyces viscosus*, *Bacillus subtilis*, *Erwinia amylovora* (Gurusiddaiah *et al.*, 1986 ; Thomashow *et al.*, 1990).

La phénazine-1-carboxamide (PCN), a aussi été rapportée chez les *Pseudomonas* spp. fluorescents, tel que *P. aeruginosa* et *P. chlororaphis* (Chin-A-Woeng *et al.*, 1998 ; Mavrodi *et al.*, 2001). La PCN diffère du PCA par la présence du groupement carboxamide (CONH) au lieu du groupement hydroxyle sur le carbone 1 du noyau phénazine. Cette molécule est plus stable que la PCA, et exprime ses activités antifongiques même à pH alcalin (Chin-A-Woeng *et al.*, 1998).

La pyocyanine (1-hydroxy-5methyl-phénazine), est prédominante chez *P. aeruginosa* (Demange *et al.*, 1989). Cette phénazine de couleur bleue est toxique pour une large gamme de bactéries et champignons (Hassan et Fridovich, 1980). Mais c'est aussi un facteur de virulence dans les infections opportunistes humaines (Price-Whelan *et al.*, 2006).

b. Phloroglucinols

Les phloroglucinols sont des antibiotiques à large spectre, produits par une large variété de souches bactériennes. Le 2,4-diacétyl phloroglucinol (DAPG) est aussi un antibiotique phénolique à large spectre d'action produit par *P. fluorescens* Pf-5 (Howell et Stipanovic, 1979), *P. fluorescens* F113 (Fenton *et al.*, 1992), *P. fluorescens* CHAO (Keel *et al.*, 1992) et *P. fluorescens* Q2-87 (Banger et Thomashow, 1996).

Cet antibiotique possède aussi une activité herbicide, ressemblant à l'acide 2, 4-dichlorophénoxyacétique (2, 4-D) un herbicide de post-émergence, pour le contrôle des mauvaises herbes des céréales, de la canne à sucre et d'autres plantations. Le DAPG induit aussi la résistance systémique chez les plantes, et joue donc le rôle d'un éliciteur des phytoalexines (Dwivedi et Johri 2003).

c. Pyrrolnitrine (PRN)

La pyrrolnitrine (PRN) (3-chloro-4-(2'-nitro-3'-chlorophenyl) un composé pyrrole, est produite par les *Pseudomonas* spp. fluorescents comme *P. fluorescens* (Kirner *et al.*, 1998) et *P. chlororaphis* (Elander *et al.*, 1968). La pyrrolnitrine a trouvé son application comme composé à usage clinique pour le traitement des mycoses cutanées plutôt que fongicide agricole (Hammer *et al.*, 1997 ; McSpadden Gardener et Fravel, 2002).

La production de ce composé par *P. fluorescens* est impliquée dans le contrôle de certains agents pathogènes racinaires comme *R. solani*, *Verticillium dahliae*, *G. graminis* et *Fusarium oxysporum* (Howell et Stipanovic, 1979, Homma *et al.*, 1989).

d. Pyolutéorine (PLT)

La pyolutéorine, un autre antibiotique produit par différents *Pseudomonas*. Les souches produisant la PLT sont à l'origine de la suppression de nombreuses maladies telluriques (Howell et Stipanovic 1980 ; Défago *et al.*, 1990 ; Maurhofer *et al.*, 1994). Cette molécule, isolée pour la première chez *P. aeruginosa*, est composée d'un anneau résocriinol synthétisé par la voie de polycétide, relié à une partie pyrrole bichlorée (Nowak-Thompson *et al.*, 1999), possédant un pouvoir fongitoxique efficace contre les oomycètes, notamment *Pythium ultimum* (Maurhofer *et al.*, 1992).

e. Mupirocine

Plus connu comme l'acide pseudomonique, est un antibiotique polycétide naturellement présent chez les *Pseudomonas* spp. fluorescents. La mupirocine produite par *P. fluorescens* NCIMB 10586, est d'une activité élevée contre *Staphylococcus aureus* et d'autres bactéries à Gram positif (El-sayed *et al.*, 2001).

f. Antibiotiques peptidique

Les antibiotiques peptidiques sont aussi bien produits par les bactéries à Gram positif (Katz et Demain, 1977) que celles à Gram-négatif (Dowling et O'Gara, 1994), par une synthèse multienzymatique non-ribosomique (Kleinkauf et Dohren, 1996). Récemment, il a été démontré que des *Pseudomonas* spp. fluorescents produisent des lipopeptides cycliques (CLPs). La tensine produite par *P. fluorescens* 96.578, a montré un effet potentiel sur le basidiomycète *R. solani* (Nielsen *et al.*, 2000). La Viscosinamide un autre lipopeptide cyclique produit par *P. fluorescens* DR54 (Nielsen *et al.*, 1999), est aussi actif sur *R. solani* par la réduction de la biomasse mycélienne et donc la formation de sclérotés (Thane *et al.*, 2000). L'Oomycin A est un antibiotique produit par *P. fluorescens* HV37a, est à l'origine de la suppression du damping-off du coton causé par *P. ultimum* (Gutterson *et al.*, 1988).

g. Cyanure d'hydrogène

Le cyanure d'hydrogène (HCN) est un inhibiteur efficace de la cytochrome c oxydase de la chaîne respiratoire et d'autres métallo-enzymes (Knowles, 1976). Il est excrété et métabolisé chez les bactéries par la voie de la décarboxylation oxydative en utilisant le glutamate et la méthionine comme précurseurs. La production de HCN par la souche de *P. fluorescens* CHA0 réduit la pathogénicité des champignons tels *Thielaviopsis basicola*, agent de la pourriture noire du tabac (Mercado-Blanco et Bakker, 2007).

I.2.4.2.5. Enzymes extra cellulaire dégradant les parois fongiques

L'excrétion d'enzymes qui dégradent les parois cellulaires fongiques est fréquemment impliqué dans les attaques des champignons phytopathogènes (Martin et Loper 1999 ; Nielsen et Sorensen, 1998 ; Picard *et al.*, 2000).

La lyse des parois cellulaires, par les enzymes dégradatives excrétées par les microorganismes est une fonction bien connue du mycoparasitisme. La Chitinase, la β -1,3

glucanase et la cellulase sont d'importantes enzymes spécialement dans le contrôle fongique, par leurs activités dégradatives des composés des parois cellulaires tels que : la chitine, le β 1-6 glucane et les ponts glucosidiques (Schroth et Hancock, 1981 ; Chet, 1987 ; Lorito *et al.*, 1996). Les microorganismes excréant la chitinase ont été rapportés comme des agents de biocontrôle efficaces (Ordentlich *et al.*, 1988 ; Inbar et Chet, 1991). Le contrôle biologique de *Fusarium solani*, se fait essentiellement via les activités des laminarinase et chitinase chez *P. stutzeri* YPL-1 (Lim *et al.*, 1991). *P. cepacia* produisant la β -1,3 glucanase, réduit l'incidence des maladies causées par *R. solani*, *P. ultimum* et *Sclerotium rolfsii* (Fridlender *et al.*, 1993). Nielson *et al.*, (1998) ont rapporté que dans la rhizosphère de la betterave à sucre, les *Pseudomonas* spp. fluorescents inhibaient *R. solani* par production d'endochitinase.

I.2.4.2.6. Résistance systémique induite ou ISR (*Induced Systemic Resistance*)

La reconnaissance par la plante de certaines bactéries de la rhizosphère peut conduire à une réaction d'immunisation lui permettant de mieux se défendre vis-à-vis d'une attaque par un organisme pathogène (van Loon, 2007). Cette « immunisation » de la plante est appelée résistance systémique induite (ISR) (van Loon *et al.*, 2005 ; Jourdan *et al.*, 2008). Ce phénomène d'induction de résistance systémique par les rhizobactéries est considéré comme une stratégie prometteuse dans la lutte biologique contre les maladies des cultures (Ramos Solano *et al.*, 2008). L'ISR peut être induite par des microorganismes variés incluent des bactéries à Gram positif comme *Bacillus pumilus*, ou des bactéries à Gram négatif appartiennent au genre *Pseudomonas* (*fluorescens*, *putida*, *aeruginosa*) (Jourdan *et al.*, 2008).

Les *Pseudomonas* spp. fluorescents sont capables de synthétiser de nombreuses molécules appelés « déterminants ou éliciteurs ». Elles sont impliquées dans l'induction ou la potentialisation des réactions de défense de la plante et conduisant à leur tour à la mise en place d'une ISR. Ces molécules sont de natures variées et pouvaient être divisées en trois :

- des composants de surface cellulaire (e.g. LPS) ;
- des métabolites à activité chélatrice du fer (e.g. sidérophores, acide abscissique) ;
- des molécules à activité antibiotique (e.g. HCN, DAPG) (Van Loon et Bakker, 2005).

Les éliciteurs stimulent la production, par la plante, de phytoalexines toxiques vis-à-vis du pathogène (Ramos Solano *et al.*, 2008).

Matériel et méthodes

II. Matériel et Méthodes

Le présent travail a été réalisé aux laboratoires du département de sciences agronomique, université d'Amar Telidji, Laghouat. L'expérimentation consiste à mettre en évidence l'effet des bactéries *Pseudomonas* spp. fluorescents isolées de la rhizosphère de deux plantes spontanées *Astragalus armatus* et *Tamarix gallica* sur la germination des graines de blé sous stress abiotiques salin et calcaire.

II.1 Matériel biologique

1.1 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 2019-2020, ont été fournis par l'Office Algérien Interprofessionnel des Céréales- Laghouat-Algérie(OAIC).

1.2 Matériel bactérien

Dans cette étude nous avons utilisé deux souches de *Pseudomonas* spp. fluorescents 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 incubé à $28 \pm 2^\circ\text{C}$.

Tableau 1 : Origine des souches bactériennes

Souche	Origine rhizosphérique	Origine géographique	Année d'isolement
Aso2	<i>Astragalus armatus</i>	El -Assafia	2016
T32	<i>Tamarix gallica l</i>	Ain maadéd	2019

II.2 Préparation de la suspension bactérienne

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**).

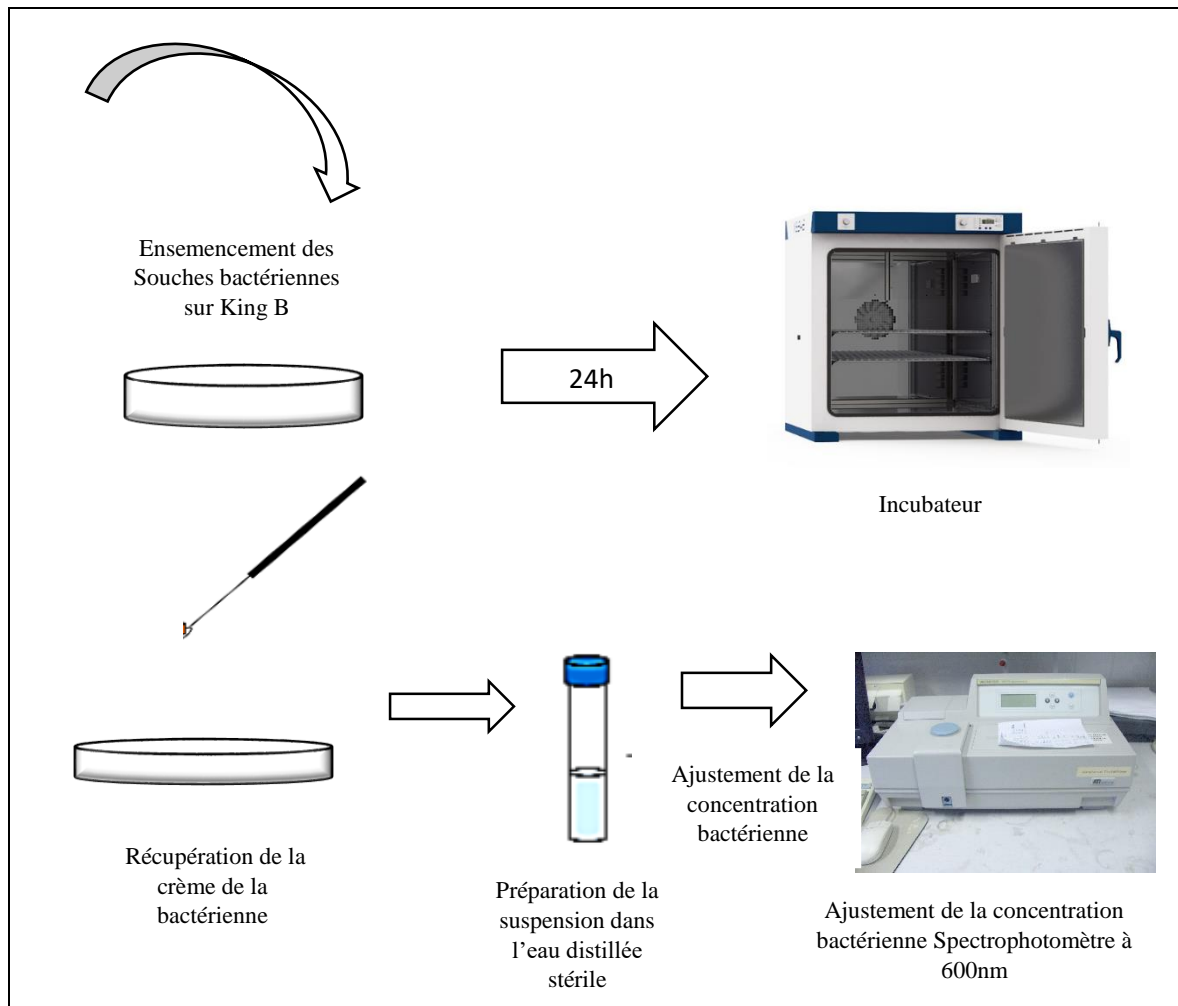


Figure2. Schéma présentant la préparation des suspensions bactériennes

II.3 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 2 mn chacun, une fois le rinçage est effectué les graines, ont été laissés sur un papier absorbant stérile pour le séchage des graines(**Figure3**).

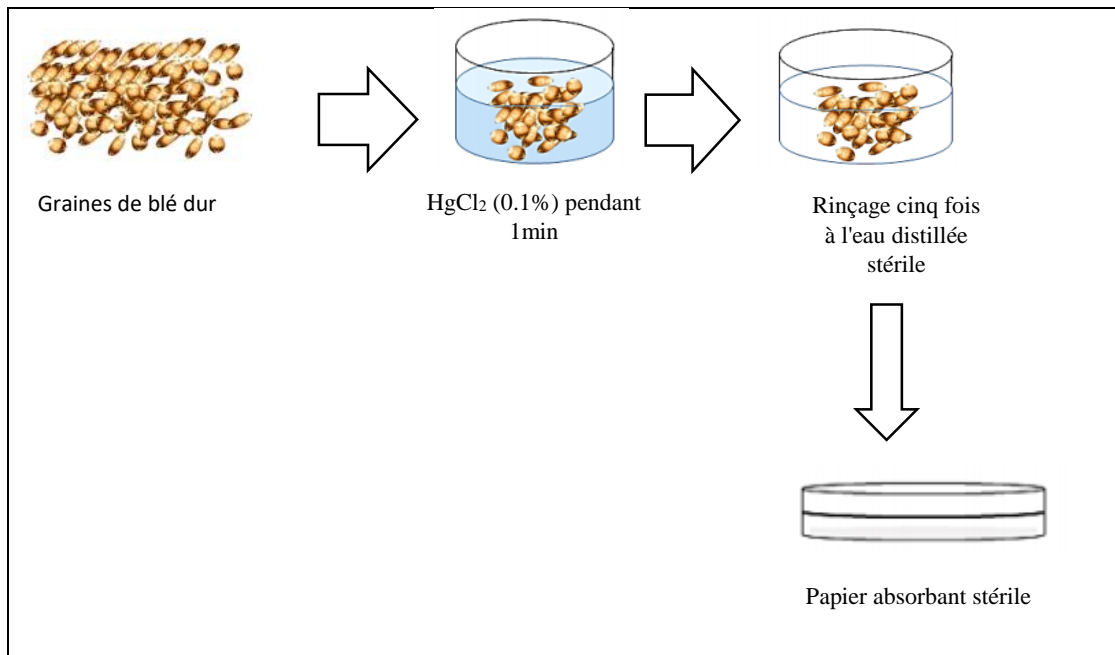


Figure3. Schéma représentant la désinfection des graines de blé

II.4 Bactérisation des graines

Après la désinfection des grains, elles ont été trempées dans les suspensions bactériennes respectivement (ASO₂ et T32), le témoin non bactérisé a été trempé dans l'eau distillée stérile, ces préparations ont été laissées pendant 24h à une température de 24°C.

Après 24h, les grains ont été mises sur papier absorbant stérile pour les sécher, puis repiqués dans des boîtes en plastique d'une capacité de 500 ml contenant 50 ml du milieu (eau-agar) additionnées avec une concentration respective de 0 - 6 et 10g/l de NaCl, ou de 0, 2,5 et 7% du CaCo₃ à raison de 50 grains par boîte (**Figure 4, 5**).

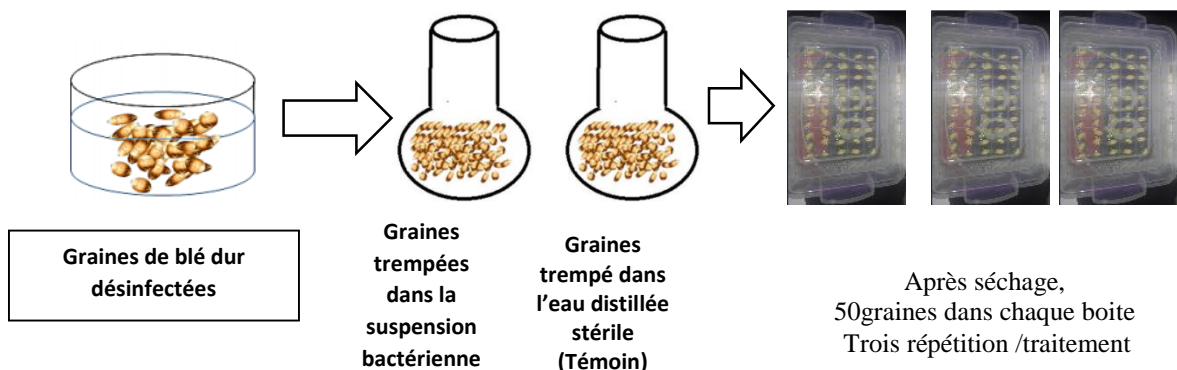


Figure4. Schéma représentant la bactérisation des graines de blé



(Source original 2020)

Figure 5. Photo représentant l'unité expérimentale (disposition des graines dans la boîte sur milieu eau-agar)

II-5 Dispositif expérimental

Nous avons réalisé deux essais pour mettre en évidence l'effet des *Pseudomonas* spp. fluorescents sur le germination du blé dur, variété Vitron, le premier sous stress salin, le deuxième sous stress calcaire. Les deux essais ont été conduit en randomisation totale à deux facteurs étudiés à trois répétitions :

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

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

Nous avons **Neuf** traitements qui sont ;

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

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

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

Nous avons douze traitements, qui sont,

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

II.6 Paramètres étudiés

Nous avons réalisé ce test pour déterminer l'effet des souches rhizobactériennes sous stress salin ou calcaire. 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 :

$$TG (\%) = \frac{n}{N} * 100$$

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'un papier millimétré nous avons mesuré la longueur de racines et la longueur de feuilles.

3) Indice de vigueur

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

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

II.4 Analyse statistique

Les résultats sont analysés par le logiciel statbox végétal 6.9 version d'essai, l'ANOVA en considérant l'essai aléatoire. C'est une analyse à deux facteurs de variation qui consiste en la concentration de NaCl pour le cas du stress salin et la concentration du CaCO₃ pour le cas du stress calcaire. 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 des moyennes (comparaison entre les témoins et les différentes concentrations de NaCl pour l'étude du stress salin et entre les témoins et les différentes concentrations, pour l'essai du stress calcaire).

Résultats et discussion

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

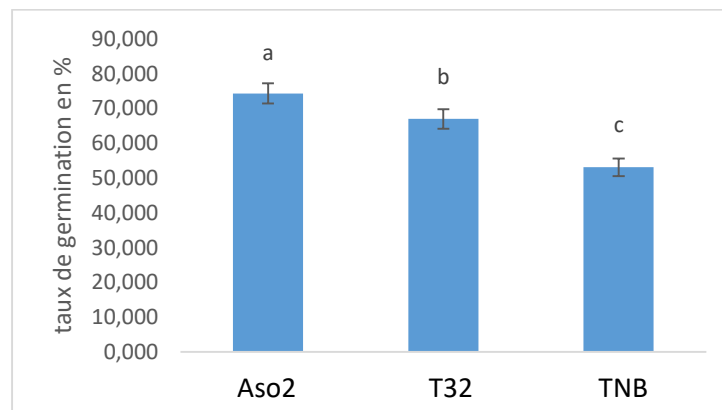
Les analyses statistiques des résultats ont montré des différences très hautement significatives pour l'ensemble des paramètres étudiés que ce soit pour facteur bactérisation ou le facteur concentration de calcaire ou de NaCl, ou pour leurs interactions.

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

1.1. Sur le taux de germination

a. Facteur 1 bactérisation

L'analyse de la variance (annexe2) a révélé une différence très hautement significative pour le facteur bactérie Aso2 classé la première dans le group (a) avec taux de germination de 74,33%, la bactérie T32 classée dans le group (b) avec un taux de germination de 67%, et le témoin non bactérisé le plus faible taux de germination de 53,08% et il est classé dans le groupe (c) (**Figure 6**).



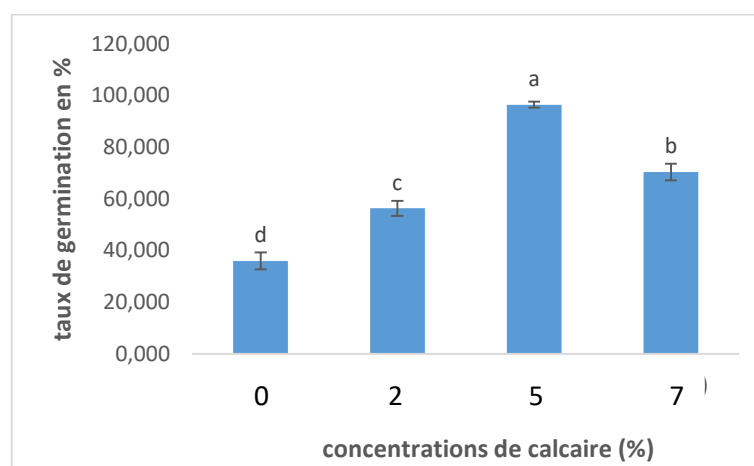
Les valeurs suivies de la même lettre appartiennent au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

AS02, T32 : souches de *Pseudomonas* spp.fluorescents
TNB : témoin non bactérisé

Figure 6. Effet du facteur bactérisation sur le taux de germination du blé dur.

b. Facteur 2 concentration du calcaire

L'analyse de la variance (annexe2) a révélé une différence significative pour le facteur concentration de calcaire. Le taux de germination obtenu à la concentration 5% de calcaire est classé le premier dans le groupe (a) avec une moyenne de 96,44, suivi par ceux obtenus par la concentration de 7% sont classé dans le groupe (b) avec une moyenne 70,44%, et ceux à la concentration de 2% classé dans le groupe (c) avec moyenne de 56,33%, pour ceux à la concentration 0% de CaCO_3 , ont noté le plus faible taux de germination 36%, et il est classé dans le groupe (d) (**Figure 7**).



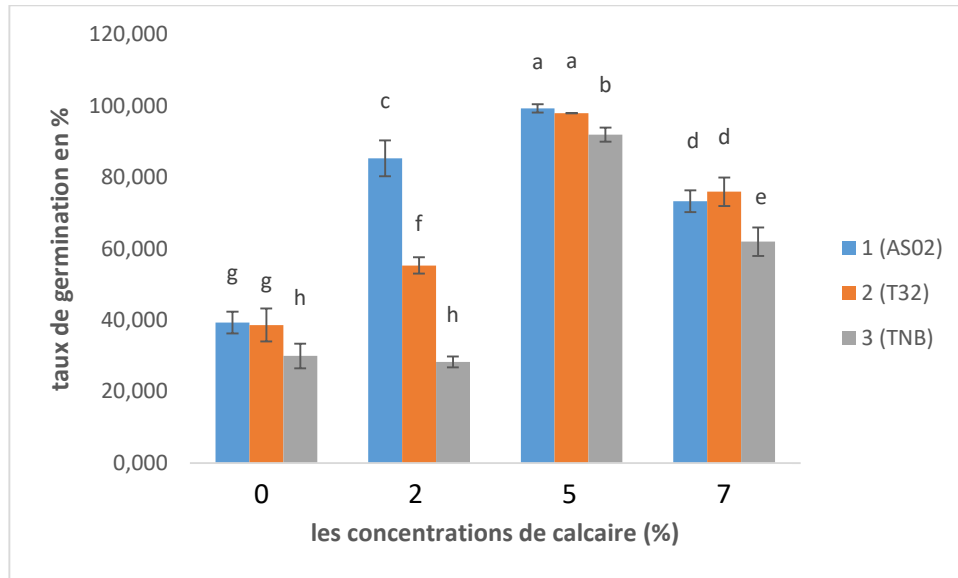
Les valeurs suivies de la même lettre appartiennent au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

Figure 7 : Effet du facteur concentration du CaCO_3 sur le taux de germination du blé dur.

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

L'analyse de variance (annexe 2) a révélé une différence très hautement significative pour l'interaction bactérisation et concentration. Dans le groupe (a) sont classé les traitements Aso2 à 5% et T32 à 5% avec des taux de germination de 99.33% et 98.00%. Le traitement TNB à 5% est classé dans le groupe (b) avec moyenne de 92.00%. Le groupe (c) contient le traitement Aso2 à 2% avec une moyenne de 85.33%. Le traitement Aso2 à 7% et T32a 7% sont classé dans le même groupe (d) avec des taux de germinations respectivement de 76.00 et 73.33%. Le traitement TNB à 7% classé dans le groupe (e) avec un taux de 62.00%, le groupe(f) il contient le traitement de T32 à 2% avec un taux 55.33%, donc les faibles, le groupe (g) contient les traitements Aso2 à 0% et T32 à 0% avec une moyenne

respectivement de 39.33 et 38.66%. le dernier groupe (h) qui contient les faibles traitements TNB à 0% et 2% de calcaire enregistré respectivement des taux de 30 et 28.33% (**Figure 8**).



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

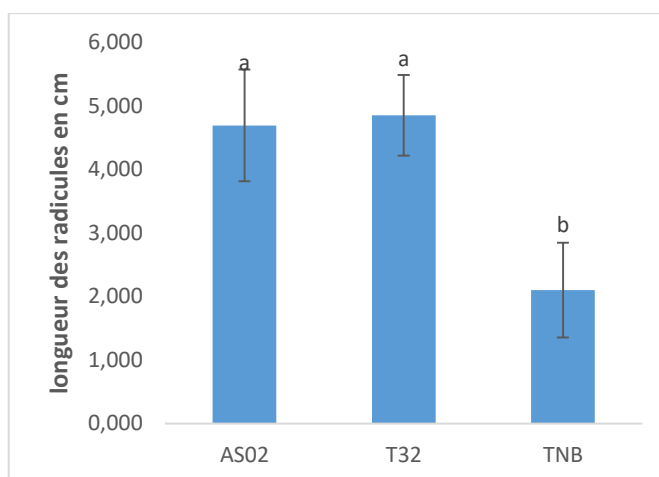
AS0₂, T₃₂ : souches de *Pseudomonas* spp. fluorescents
TNB : témoin non bacterisé

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

1.2. Sur la longueur des racines

a. Facteur 1 bactérisation

L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative pour le facteur bactérisation. Le T32 et Aso2 sont classés les premier dans le groupe (a) avec moyenne respective de 4.85et 4.69cm, et la faible moyenne est de 2,10 cm, enregistré pour le témoin non bacterisé et il est classé dans le groupe (b) (**Figure 9**).



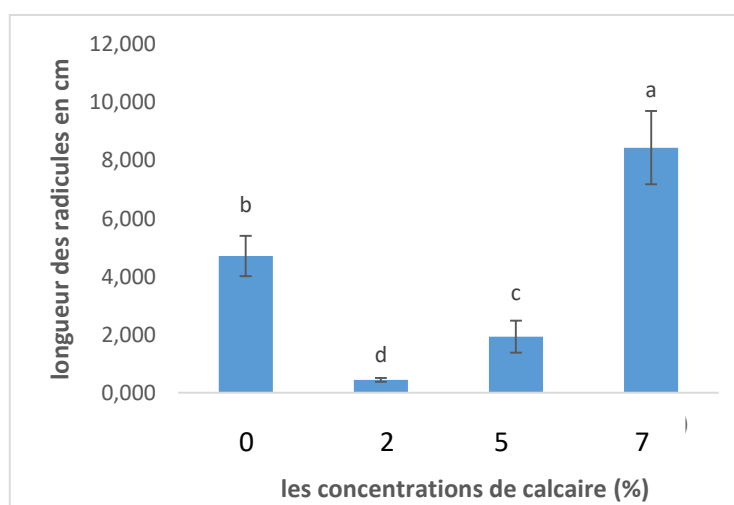
Les valeurs suivies de la même de la lettre appartiennent au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

AS0₂, T₃₂ : souches de *Pseudomonas* spp.fluorescents
TNB : témoin non bacterisé

Figure 9. Effets du facteur bactérisation sur la longueur des racicules du blé dur.

b. Facteur 2 concentration du calcaire

L'analyse de la variance(annexe3) a révélé une différence hautement significative, pour la longueur des racine à la concentration de 7% de calcaire , classé dans le group (a) avec moyenne de 8.44cm, suivi par ceux à la concentration de 0% de calcaire ,qui ont été classé dans le group (b) avec moyenne de 4.70cm, en troisième position se classe ceux à la concentration de 5% du calcaire avec moyenne de 1.93cm dans le groupe (c), la faible moyenne est 0.44cm enregistré par la concentration 2% de CaCO₃ donc classé dans le groupe (d)(Figure 10).

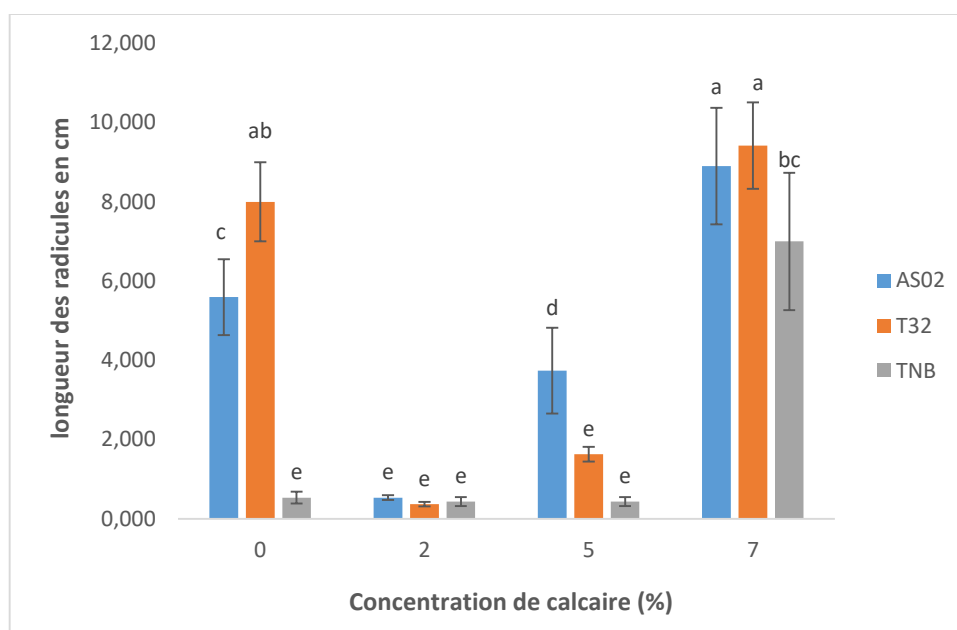


Les valeurs suivies de la même de la lettre appartiennent au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

Figure 10. Effets du facteur concentration du CaCO₃ sur la longueur des racicules du blé dur.

c. Interaction entre facteur bactérisation et facteur concentration de calcaire sur la longueur des radicules

L'analyse de la variance(annexe3), a révélé une différence significative pour les facteur bactérisation et concentration , la bactérie T32 à la concentration de 7%de calcaire donne la meilleur moyenne avec 9.42cm, classe dans le groupe homogène(a),la bactérie ASO2 à la concentration 7% de calcaire avec une moyenne de 8cm , les groupes intermédiaires (a) (b) et (b)(c) se classe respectivement les traitements T32 et à concentration 0% et témoins non bactérisé à la concentration 7% de calcaire avec des moyennes respectivement , 8 et 7cm. La ASO2 à concentration 0% de calcaire se classe dans le groupe homogène (c) avec une moyenne de 5.59cm. dans le groupe (d)se classe la ASO2 à la concentration 5% de calcaire, par la suit à la concentration de 5%, laT32 se classe dans le groupe (d), les plus faibles traitements sont (T32 à 5% ; ASO2 à 2% ; TNB a 0% ; TNB à 2% ; TNB à 2% et T32 à2%) classés dans le groupe (e) (**Figure 11**).



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

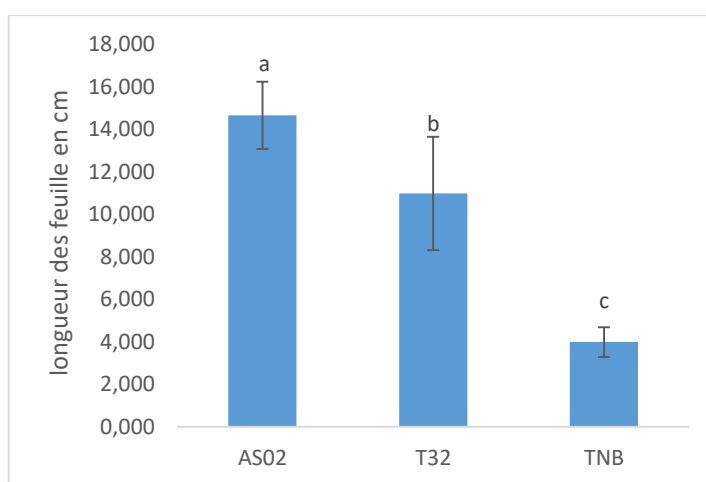
ASO₂, T₃₂ : souches de *Pseudomonas* spp.fluorescents
TNB : témoin non bactérisé

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

1.3. Sur la longueur des feuilles

a. Facteur 1 bactérisation

L'analyse de la variance (annexe4) a révélé une différence significative pour le facteur bactérisation, la souche Aso2 a donné la meilleure longueur de feuille, classé dans le group (a) avec moyenne de 14.67cm, la bactérie T32 classé la deuxième dans le group (b) avec une moyenne de 11cm, et la faible moyenne a été enregistré par le témoin non bactérie TNB classé dans le groupe (c) avec moyenne de 4.00cm (Figure 12).



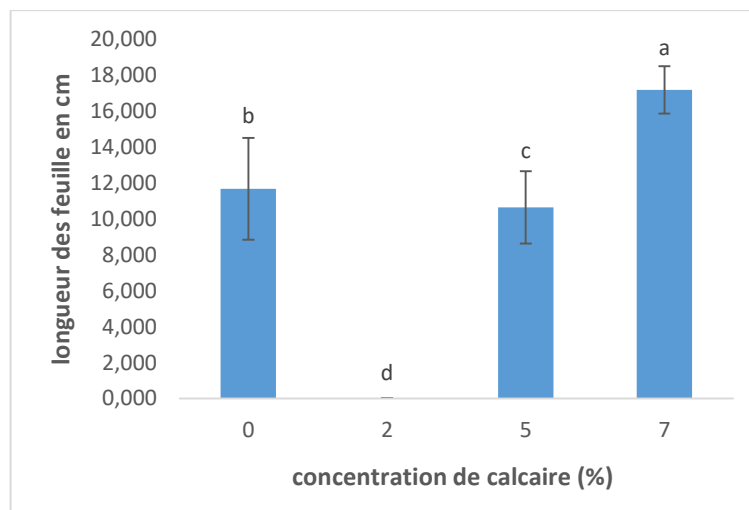
Les valeurs suivies de la même de la lettre appartiennent au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

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

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

b. Facteur 2 concentration du calcaire

L'analyse de la variance(annexe4) a révélé une différence hautement significative pour la facteur de concentration en calcaire, la concentration de 7% calcaire est classé le première dans le group (a) avec une moyennes de 17.20cm de longueur des feuille, suivi par ceux obtenus à la concentration 0% classé dans le group (b) avec une moyenne de 11.68cm,et ceux la concentration de 5% est classé dans le groupe (c) avec moyenne de 10.64cm, et aucun feuille n'a été formé à la concentration de 2% de calcaire et classé dans le groupe (d) avec une moyenne de 0cm (Figure 13).

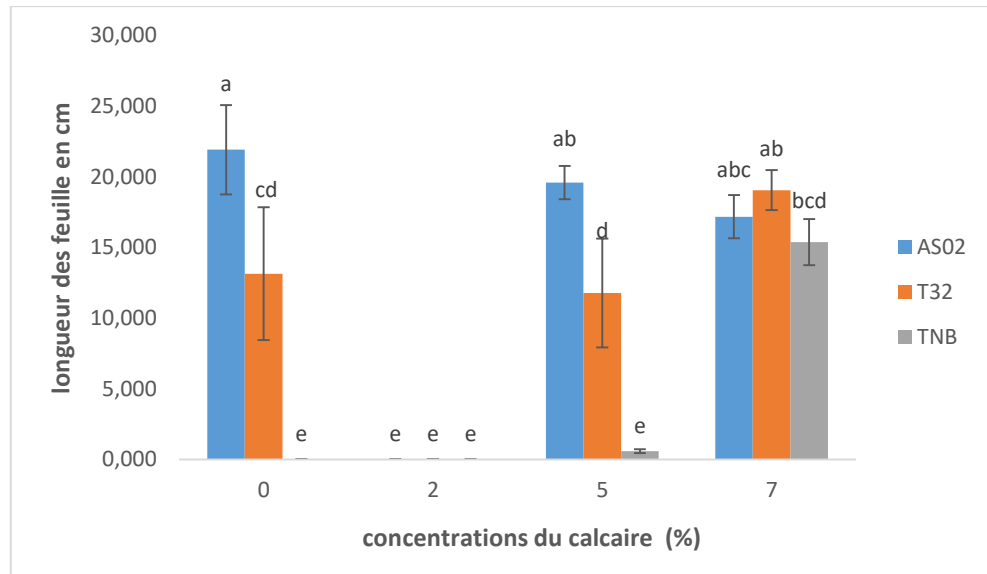


Les valeurs suivies de la même de la lettre appartiennent au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

Figure 13. Effet du facteur concentration du CaCO_3 sur la longueur des feuilles.

c. Interaction entre facteur bactérisation et facteur concentration de calcaire sur la longueur des feuilles

L'interaction des deux facteurs a montré une différence significative selon l'analyse de la variance, nous distinguons les résultats suivante, le traitement Aso2 à 0% a donné le meilleur résultat avec des moyennes 21.91cm, le groupe intermédiaire (A)(B) contient les traitements T32 et Aso2 à 7% de calcaire avec des moyennes respectivement 19.60 et 19.05cm, les autres groupes intermédiaires ; abc, bcd et cd contiennent respectivement les traitements témoin non bactérisé à 7% de calcaire et T32 à 2% de calcaire, et Aso2 à 5% de calcaire avec des moyenne respectivement de 17.17,15.37,et 13.14cm, le groupe (d) contient le traitement T32 à 5% de calcaire avec une moyenne de 11.77cm, et les plus faibles moyennes entre 0 et 6 cm sont enregistrés par les traitements témoin non bactérisé à 0%, à 2% et à 5% de calcaire, T32 et Aso2 à 2%(Figure 14).



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

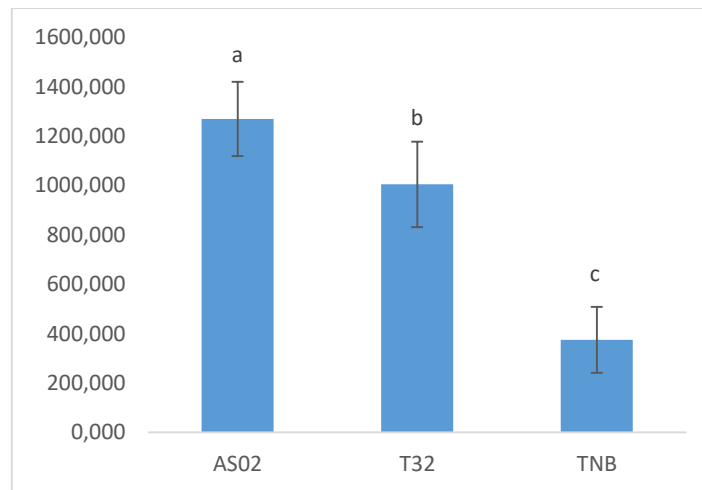
ASO₂, T₃₂ : souches de *Pseudomonase* spp.fluorescents
TNB : témoin non bacterisé

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

1.4. Sur l'indice de vigueur

a. Facteur 1 bactérisation

L'analyse de la variance (annexe5) a révélé une différence significative pour le facteur bactérisation, la souche Aso2 classé dans le groupe (a) la meilleur, avec une moyenne de 1335,25 suivi par la bactérie T32 classé dans le group (b), avec une moyenne de 1075.22, le témoin non bactérisé classé dans le groupe (c) avec le plus faible moyenne indice de vigueur de 377,32 (Figure 15).



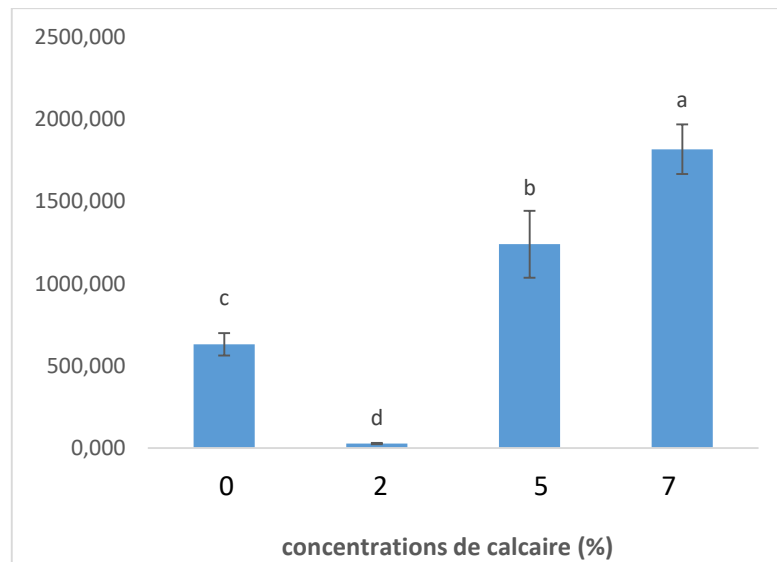
Les valeurs suivies de la même de la lettre appartiennent au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

AS0₂, T3₂ : souches de *Pseudomonase* spp.fluorescents
TNB : témoin non bacterisé

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

b. Facteur 2 concentration du calcaire

L'analyse de la variance(annexe5) a révélé une différence très hautement significative ($P=000$) pour le facteur concentration de calcaire, la concentration 7% a enregistré le meilleur indice de vigueur ,classé dans le group (a) avec moyenne de 1819.11 suivi par la concentration5% classé dans le group (b) avec une moyenne de 1240.59 dans le groupe (c) est classé ceux à concentration 0% de CaCO_3 avec une moyenne de 631.70 et le plus faible indice de vigueur avec une moyenne de 26.01 concentration de 2% de CaCO_3 et classé dans le groupe (d) (Figure 16).

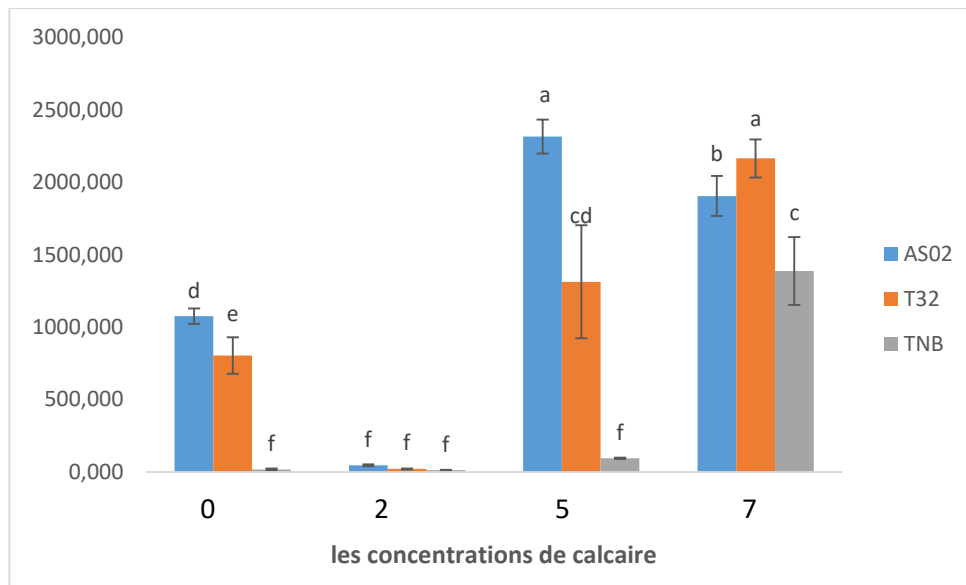


Les valeurs suivies de la même de la lettre appartiennent au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

Figure 16. Effet du facteur concentration du CaCO_3 sur l'indice de vigueur.

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

L'analyse de variance (annexe5) a révélé une différence très hautement significatif ($P=000$) pour l'interaction des deux facteur bactérisation et concentration, pour les ASO2 5% et T32 à 7% sont les meilleurs avec des moyennes respectivement de 2315.67 et 2164.4, et sont classé dans le groupe homogène (a). le groupe (b) contient le traitement Aso2 de 7% de calcaire est classé dans le groupe (c) avec une moyenne de 1387.27 ,T32 à 5% a enregistré une moyenne de 1312.55 et classé dans le groupe intermédiaire (cd), suivi respectivement par Aso2 à 0% et T32 à 0% dans les groupe (d) et (e) avec des moyennes respectivement 1075.23 et 803.59 ,les plus faible indice de vigueur sont TNB(non bactérie) à 5%, 2% et 0%, Aso2 à 2%, T32 à 2% de calcaire avec un moyennes entre 0 et 93.57 , classé dans le groupe (f) (Figure 17)..



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

AS0₂, T₃₂ : souches de *Pseudomonas* spp. fluorescents
 TNB : témoin non bacterisé

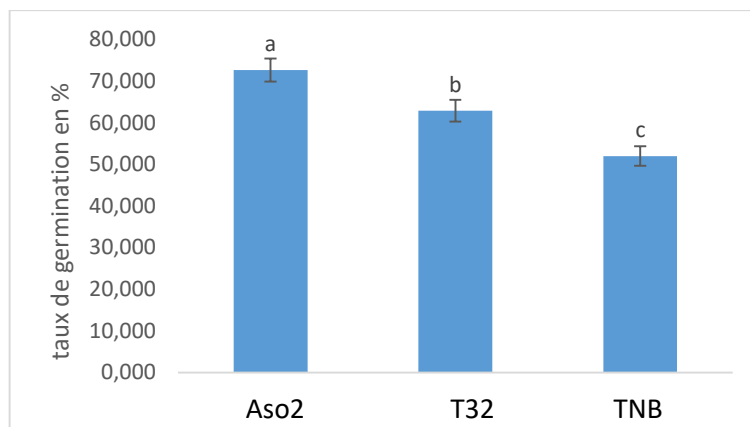
Figure 17. Effet de l'interaction du facteur bactérisation et le facteur concentration du calcaire sur l'indice de vigueur.

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

2.1. Sur le taux de germination

a. Facteur 1 bactérisation

L'analyse de la variance (annexe6) a révélé une différence très hautement significative pour le facteur bactérisation, la bactérie Aso2 est classé dans la premier groupe (a) avec un taux de germination moyen de 72,66%, la bactérie T32 est classé dans le group (b) avec un taux de 62,88% et le faible taux de 52% est donné par de témoin TNB est classé dans le groupe (c) (Figure 18).



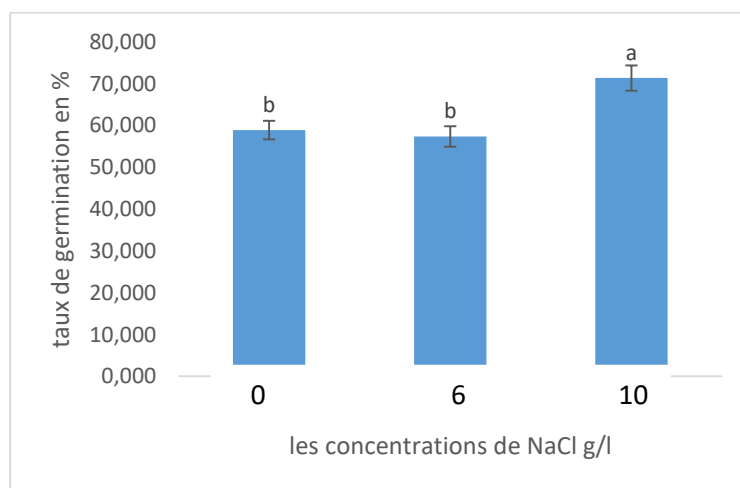
Les valeurs suivies de la même lettre appartiennent au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

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

Figure 18. Effet du facteur bactérisation sur le taux de germination du blé dur.

b. Facteur 2 concentration du NaCl

L'analyse de la variance (annexe 6) a révélé une différence très hautement significative pour le facteur de concentration de NaCl, pour le taux de germination obtenu à la concentration de 10g/l de NaCl est le plus élevé et classé dans le group (a) avec une moyenne de 71,33%, pour les taux à la concentration 0 et 6g/l de NaCl sont respectivement de 58,8, et 57.33% sont classés dans le group (b) (Figure 19).

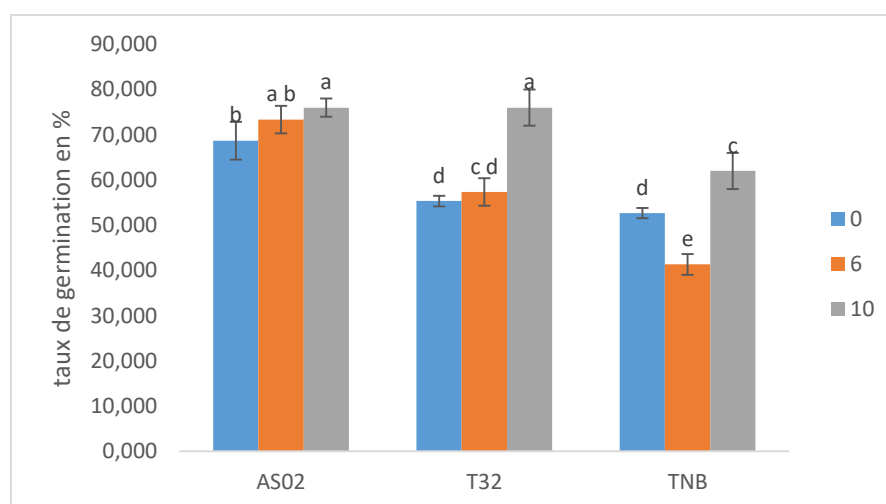


Les valeurs suivies de la même de la lettre appartiennent au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

Figure 19. Effet du facteur concentration du NaCl sur le taux de germination du blé dur.

c. Interaction entre facteur bactérisation et concentration du NaCl

L'analyse de la variance (annexe 6), a révélé une différence très hautement significatif pour l'interaction entre le facteur bactérisation et facteur concentration, les traitements Aso2 et T32 à 10g/l de NaCl classé dans le groupe (a) ont donné le même taux de germination de 76.00%, dans le groupe intermédiaire (ab) est classé le traitement Aso2 à 6g/l de NaCl avec un taux de germination de 73.33%, le traitement Aso2 à 0g/l classé dans le groupe (b) avec un taux de 68.6%, le traitement TNB à 10g/l de NaCl classé dans le groupe (c) avec un taux de 62.0%. Dans le groupe intermédiaire (cd) est classé le traitement T32 à 6g/l de NaCl avec un taux de 57.33% les deux traitements T32 et TNB à 0g/l de NaCl avec des taux respectifs de 55.33 et 52.66% sont classés dans le groupe (d). Le plus faible taux de germination est obtenu par le traitement TNB à 6g/l de NaCl est classé dans le groupe (e) avec un taux de 41.33% (Figure 20).



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

ASO₂, T₃₂ : souches de *Pseudomonase* spp. fluorescents

TNB : témoin non bactérié

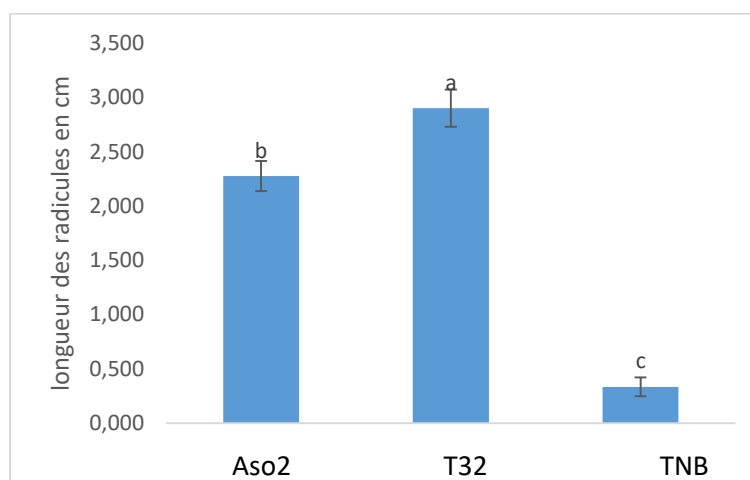
0, 6, 10 g/l Concentrations de NaCl

Figure 20. Effet de l'interaction entre le facteur bactérisation et le facteur concentration du taux de germination du blé dur

2.2. Sur la longueur des radicules

a. Facteur 1 bactérisation

L'analyse de la variance (annexe 7) a révélé une différence très hautement significative, pour le facteur bactérie, T32 classé dans le group (a) avec moyenne de 2.90cm, la bactérie Aso2 classé dans le group (b) avec une moyenne de 2.27cm, et la plus faible moyenne de 0.33cm enregistré par le témoin non bactérisé et classé dans le groupe (c) (Figure21).



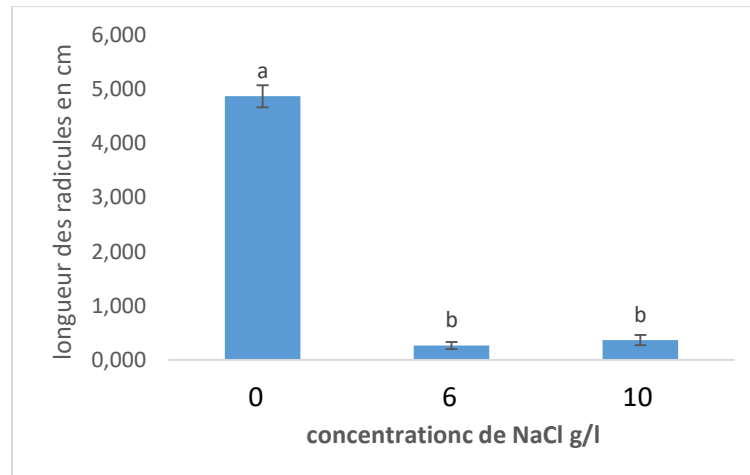
Les valeurs suivies de la même de la lettre appartiennent au même groupe homogène, selon le test deNewman-keuls ($\alpha = 5\%$).

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

Figure 21. Effet du facteur bactérisation sur la longueur des radicules.

b. Facteur 2 concentration deNaCl

L'analyse de la variance (annexe 7) a révélé une différence très hautement significative, pour le facteur concentration de NaCl la concentration 0 g/l de NaCl a enregistré la meilleure longueur des racines, classé la premier dans le group (a) avec moyenne de 4,87cm, pour la concentration 10g/l de NaCl, note une moyenne de 0.36cm, classé dans le groupe (b), et la faible moyenne 0,26 cm obtenu à la concentration de 6 g/l de NaCl est classé dans le groupe (b) (Figure 22).

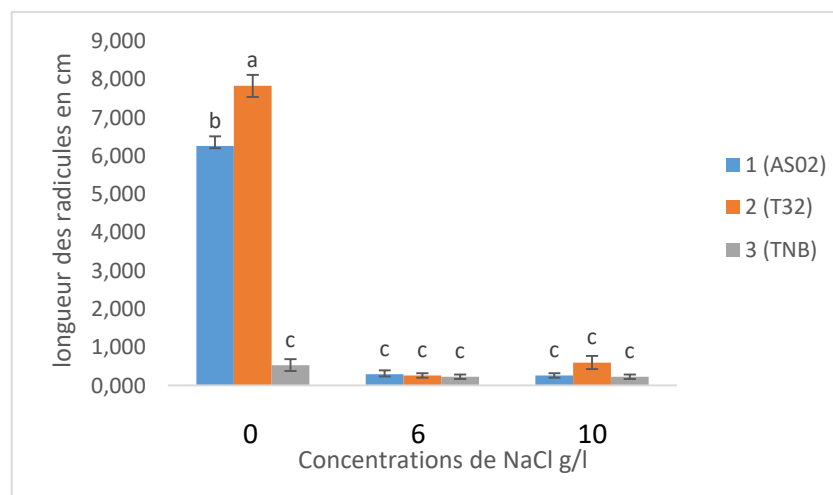


Les valeurs suivies de la même de la lettre appartiennent au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

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

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

L'analyse de la variance (annexe 7) a révélé une différence très hautement significative, pour l'interaction entre le facteur concentration du NaCl et le facteur bactérisation. Le meilleur traitement T32 à 0g/l de NaCl classé la dans le groupe (a) avec une moyenne de 7.82cm, au deuxième groupe (b) est classé le traitement Aso2 a 0g/l de NaCl avec une moyenne de 6.26cm, les autres traitements sont les faibles sont classés dans le groupe (c), avec des très faibles moyennes entre 0.3 et 0.6cm(Figure23).



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

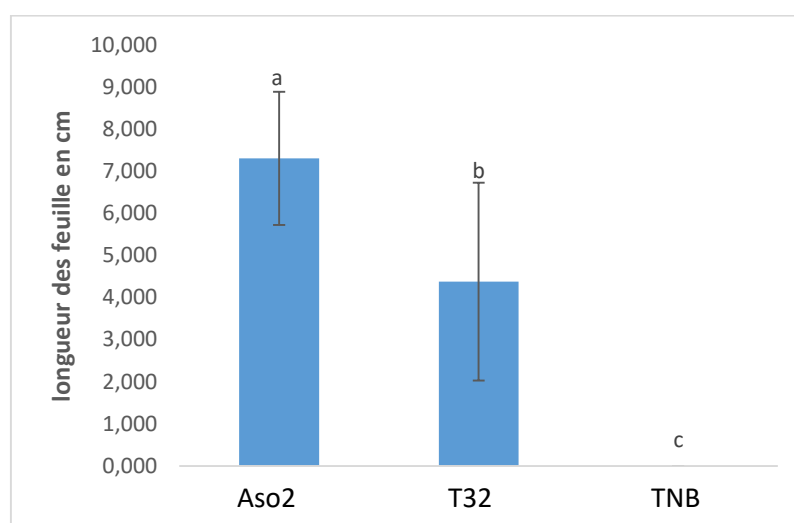
AS02, T32 : souches de *Pseudomonase* spp.fluorescents, TNB : témoin non bacterisé
0 ; 6 ; et 10 g/l Concentrations de NaCl

Figure 23. Effet de l'interaction du facteur bactérisation et le facteur de concentration du NaCl sur la longueur des racicules.

2.3. Sur la longueur des feuilles

a. Facteur 1 bactérisation

L'analyse de la variance (annexe 8) a révélé une différence très hautement significative pour le facteur bactérisation, dans le group (a) est classé la bactérie Aso2 avec la moyenne la plus élève de 7,30cm, la bactérie T32 est classé dans le group (b) avec une moyenne de 4,37cm et témoin TNB a enregistré la plus faible moyenne de 0.00cm, classé dans le groupe (c) (Figure24).



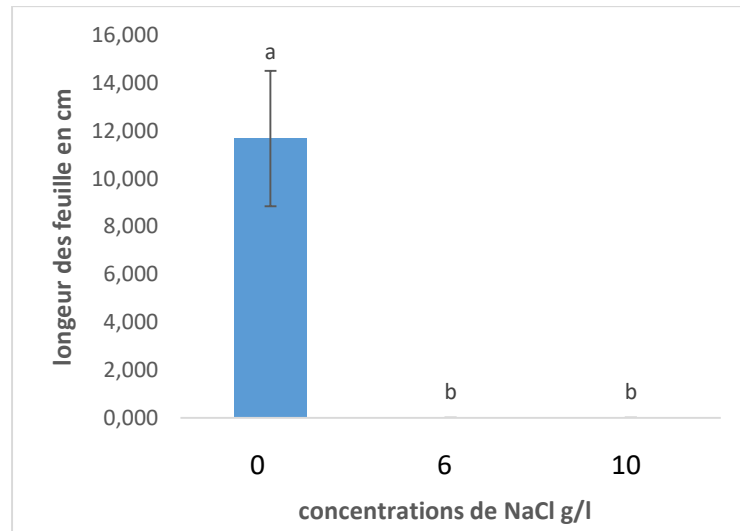
Les valeurs suivies de la même lettre appartiennent au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

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

Figure 24. Effet du facteur bactérisation sur la longueur des feuilles.

b. Facteur 2 concentration du NaCl

L'analyse de la variance (annexe 8) a révélé une différence très hautement significative, pour le facteur concentration de NaCl, seul à concentration de 0g/l de NaCl où nous avons constaté la formation de feuille avec une moyenne de 11.68cm, les concentrations 6et 10g/l de NaCl sont classées dans le group (b) avec une moyenne 00.0cm (Figure25).

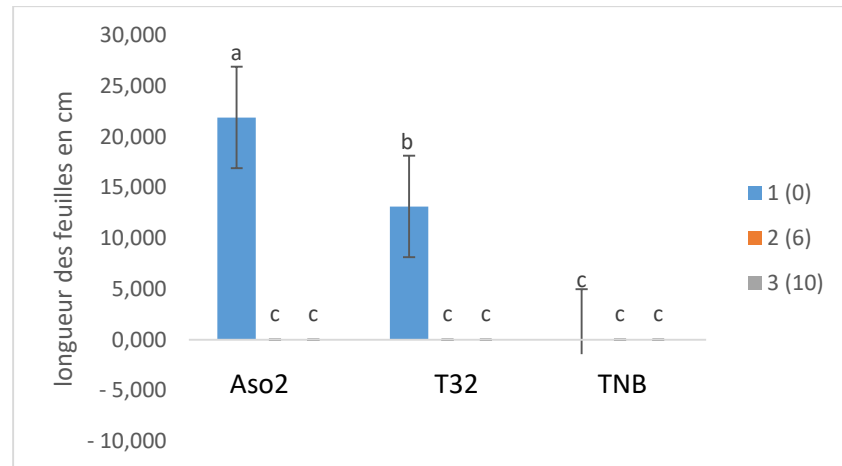


Les valeurs suivies de la même lettre appartiennent au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).
0, 6, 10 g/l Concentrations de NaCl

Figure 25. Effet du facteur concentration du NaCl sur la longueur des feuilles.

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

L'analyse de la variance (annexe 8) a révélé une différence très hautement significatif pour l'interaction entre le facteur bactérisation et facteur concentration, seul le traitement bacterisé à la concentration 0 g/l de NaCl où nous avons observé la formation de feuilles , l'Aso2 a enregistré une moyenne de 21.9cm et T32 a enregistré une moyenne de 21.917cm classé respectivement dans le groupe (a)et(b) , les autres traitements sont classé dans le groupe (c) avec une moyenne de 0.00cm soit la formation d'aucune feuilles, même pour le témoin non bacterisé (TNB) à 0g/l de NaCl (Figure26).



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

ASO₂, T₃₂ : souches de *Pseudomonase* spp.fluorescents

TNB : témoin non bacterisé

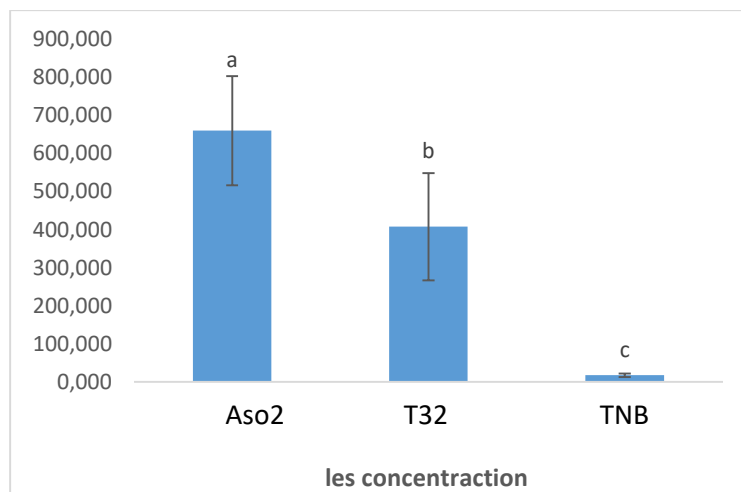
0, 6, 10 g/l Concentrations de NaCl

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

2.4. Sur l'indice de vigueur

a. Facteur 1 bactérisation

L'analyse de la variance (annexe 9) a révélé une différence très hautement significative, pour le facteur bactérisation, Aso2 est classé dans le group (a) avec la meilleure moyenne de 660, 3, suivi par la bactérie T32 classé dans le group (b) avec une moyenne de 407,7 et la plus faible moyenne de 17, 4 est enregistré par de témoin non bactérisé, classe dans le groupe (c) (Figure 27).



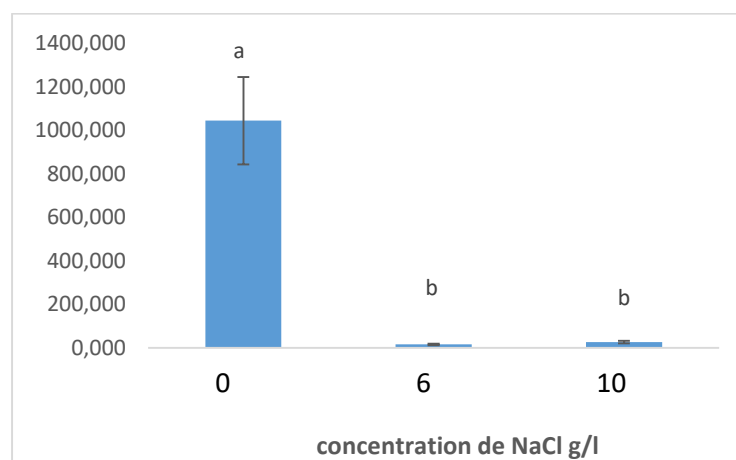
Les valeurs suivies de la même de la lettre appartiennent au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

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

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

b. Facteur 2 concentration du NaCl

L'analyse de la variance(annexe 9) a révélé une différence très hautement significative, pour le facteur concentration de NaCl, l'indice de vigueur le plus élevée est obtenu à la concentration 0g/l de NaCl est classé dans le group (a) avec une moyenne de 1043,2 ; dans le group (b) est classé ceux obtenu à la concentration 6 g/l de NaCl) avec une moyenne de 26,6 ;de même que ceux obtenu à la concentration 10 g/l de NaCl avec moyenne de 15,5. largement basse par rapport à la première concentration soit 0 g/l de NaCl (Figure 28).

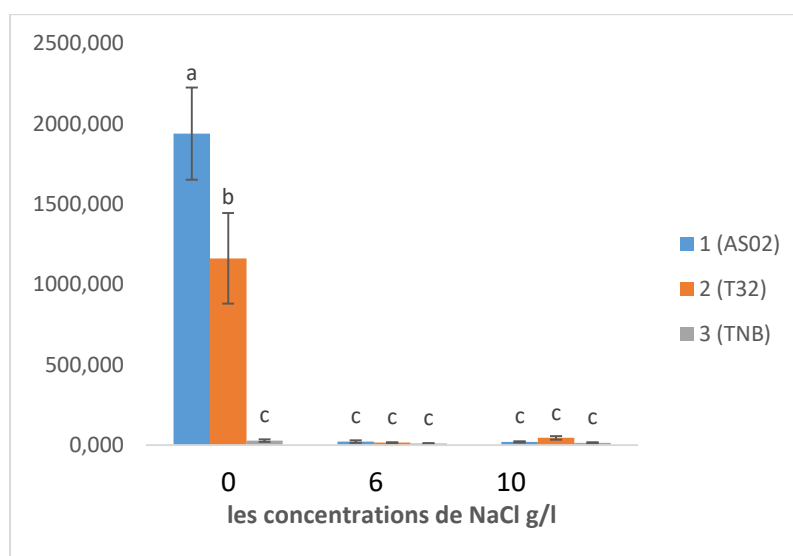


Les valeurs suivies de la même de la lettre appartiennent au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

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

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

L'analyse de la variance (annexe 9) a révélé une différence très hautement significative, pour l'interaction entre le facteur bactérisation et le facteur concentration de NaCl, dans le groupe (a) est classé le traitement Aso2 à 0g/l de NaCl avec une moyenne de 1938,8 ,en suit le traitement T32 à 0g/l de NaCl classé dans le deuxième groupe homogène (b) avec une moyenne de 1162,9, les reste des traitements ont de très faibles moyennes et sont classés dans la dernier groupe(c) avec des moyennes qui se limite entre 9,6 et 45,2 (Figure29).



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

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

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

III.2. Discussion

Notre travail a pour objectif d'estimer les effets des contraintes saline et calcaire sur la phase de germination des graines de blé en présence de deux souches de *Pseudomonas* spp. fluorescents (Aso2 et T32) isolées respectivement de la rhizosphère de deux plantes spontanées, *Astragalus armatus* et *Tamarix gallica* des régions arides et semi-arides.

Dans notre essai nous avons marqué que les souches bactériennes jouent un rôle bénéfique sur la germination des graines de blé dur (*Triticum durum*), par rapport au témoin non bactérisé, nous avons constaté que les résultats enregistrés chez la souche Aso2 ont été meilleurs que ceux obtenus par la souche T32 surtout en stress salin, la bactérie aide les grains à la germination et le développement des racines et des feuilles.

Pour le stress salin nous avons remarqué que, plus que la concentration est élevée le taux de germination est élevée mais dans le cas de stress calcaire nous avons constaté que dans les concentrations faibles la majorité des graines n'ont pas germé et dans la concentration élevée presque toutes les graines ont germé dans tous les traitements.

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

Pour le stress calcaire un effet très hautement significatif à la concentration de 5% de calcaire a enregistré, le meilleur taux de germination qui diminue à 7% de calcaire. Par contre pour la longueur des racines, la longueur des feuilles à 7% de calcaire le meilleur a été obtenu, de même pour l'indice de vigueur.

L'analyse statistique de nos résultats à l'aide d'une ANOVA fait ressortir un effet très hautement significatif ($P < 0,001$) pour les paramètres TG. En effet, le TG est significativement plus élevé à la concentration de 10 g/l de NaCl. Ces résultats sont contradictoires avec ceux cités dans la littérature (Levigneron *et al.*, 1995 ; Tlig *et al.*, 2012) où la réduction de TG est significative à partir de 2 g/l de NaCl, et avec Les travaux de Kshetrimayum *et al.* (2017) où ils ont bien montré qu'à partir de 2 g/l de NaCl, des processus métaboliques des graines en germination sont affectés comme la diminution de l'expression des voies enzymatiques de synthèse des aquaporines, ce qui influe sur la pénétration de l'eau dans la graine, affectant ainsi sa capacité d'imbibition. Ils sont même en contradiction avec

les résultats de Loghribi (2019) obtenu avec la même variété (Vitron), sauf que dans l'essai de Loghribi (2019) la semence a été utilisée après 10 mois de la récolte alors que cette fois elle a été utilisée qu'après deux mois de la récolte. Par contre pour la longueur des racines, la longueur des feuilles et l'indice de vigueur les meilleurs résultats sont obtenus par les traitements bactériés à la concentration de 0 g/l de NaCl.

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).

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 hydrolases et/ou de l'inhibition du transfert des produits de l'hydrolyse de l'endosperme à l'embryon (De Oliveira *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).

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). Alors que les plantes tolérantes à la salinité développeraient des systèmes enzymatiques tels que la superoxyde dismutase (SOD), l'ascorbate peroxydase (APX), la catalase (CAT), et la glutamine peroxydase (GPK) qui jouent un rôle majeur dans l'allègement et la réparation des dommages causés par les activités des ROS (Chen et Murata, 2002 ; Munns, 2005). Chez certaines espèces tolérantes comme *Cenchrus ciliaris*, Deboura *et al.* (2012) ont montré l'efficacité de l'activité de la glutathion peroxydase (GPX) dans la lutte contre le stress oxydatif à des doses de 50 et 100 mM de NaCl.

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 auteurs ont signalé que l'effet du sel sur la germination des graines varie en fonction de l'intensité du stress et la variété des plantes et cela, soit en diminuant la quantité

d'eau et la vitesse de son absorption par la graine, soit par l'accroissement de la pression osmotique de l'eau d'imbibition qui est trop élevée pour permettre la germination (Katembe *et al.*, 1998). Soit en augmentant la pénétration d'ions qui peuvent s'accumuler dans la graine à des doses qui deviennent toxiques (Debez *et al.*, 2001). D'autre part De-oliveira *et al.*, (1998) ont montré une sensibilité des graines durant la germination. Cette sensibilité est due principalement à l'effet de la salinité sur la mobilisation des réserves.

Une inhibition complète de la formation des feuilles a été enregistrée pour l'ensemble des traitements sauf pour les traitements bactérisés sans (NaCl), de même pour la longueur des racines 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 racine.

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 (Munns *et al.*, 2006), 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

Le métabolisme des *Pseudomonas* des diverses niches écologiques est contrôlé par le degré de salinité et des facteurs environnementaux. Son activité antagoniste est due principalement à la sécrétion des métabolites. Ces bactéries sont également connues par le contrôle des agents phytopathogènes dans les sols salins (Prabhakaran *et al.*, 2014). Dans leur habitat naturel, les *Pseudomonas* sont fréquemment exposés à des variations de pression osmotique du milieu environnant. En effet, la salinité élevée du sol peut interférer avec la croissance et l'activité des *Pseudomonas*. La membrane cytoplasmique de ces 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).

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) L'aptitude de certains isolats à dégrader des substances xénobiotiques a également retenu l'attention de différents chercheurs (Latour et Lemanceau, 1997 ; Bossis *et al.*, 2000).

Certaines souches bactériennes, appartenant en particulier au groupe de *Pseudomonas* spp. fluorescents semblent améliorer la germination des graines lorsque les conditions d'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 favorable les *Pseudomonas* spp. fluorescents sont des micro-organismes rhizosphériques intervenant dans la stimulation de la germination.

Conclusion

La germination est un critère important ayant des répercussions sur la croissance ultérieure et le rendement.

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.

Les microorganismes, par leur diversité, leur activité et leur abondance jouent un rôle primordial dans l'équilibre des écosystèmes.

Dans le cadre de ce travail, nous sommes intéressés à comparer l'effet de deux souches bactériennes non pathogènes *Pseudomonas* spp. fluorescents (Aso2 et T32) isolées respectivement de la rhizosphère de deux plantes spontanées *Astragalus armatus* et *Tamarix gallica* L de certaines régions arides et semi-arides, sur la germination de blé dur (*Triticum durum*), sous des conditions de stress abiotiques (calcaire, et salin).

Les résultats obtenus ont mis en évidence l'influence du sel et le calcaire sur la phase de germination des graines et ainsi que l'effet des souches bactériennes.

Dans cet essai les souches de *Pseudomonas* fluorescents répondant positivement aux teneurs en sel testées proches de celles d'un sol salin dans nos régions.

Nos deux souches testés Aso2 et T32, appartenant en au *Pseudomonas* spp. fluorescents les semblent améliorer :

- 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.

Les souches maintenues pour leur pouvoir promoteur de la croissance végétale ont pour la plupart manifesté des activités phytostimulantes à travers la synthèse d'AIA, par la capacité de solubilisation des phosphates. Le caractère de biocontrôle est traduit par l'inhibition de phytopathogènes suite à la production d'HCN et / ou de sidérophores. Et dans

cette essai les souches de *Pseudomonas* fluorescents répondant positivement aux teneurs en sel testées proches de celles d'un sol salin dans nos régions.

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.

- Abdelly C., Ozturk M., Ashraf M et Grignon C (2008).** Biosaline Agriculture and High Salinity Tolerance. (Eds) Birkhauser Verlag/L Swizerland, 36p. 102 illus.
- Agastian P., Kingsley S.J., Vivekanandan M (2000):** Effect of salinity on photosynthesis and biochemical characteristics in mulberry genotypes. *Photosynthetica*, 38: 287–290.
- Alberico G et Cramar G.R., (1993).** Is the salt tolerance of maize related to sodium exclusion. Preliminary screening of seven cultivars. *Journal of Plant Nutrition*, 16, 2289-2303pp.
- Anjaiah, V., Koedam, N., Nowak-Thompson, B., Loper, J. E., Hofte, M., Tambong, J. T. and Cornelis, P., 1998.** Involvement of phenazines and anthranilate in the antagonism of *Pseudomonas aeruginosa* PNA1 and Tn5 derivatives toward *Fusarium* spp. and *Pythium* spp. *Mol. Plant-Microbe Interact.* 11:847–854. Anzai, Y., Kim
- Bangera, M. G. and Thomashow, L. S., 1996.** Characterization of a genomic locus required for synthesis of the antibiotic 2,4-diacetylphloroglucinol by the biological control agent *Pseudomonas fluorescens* Q2-87. *Mol. Plant-Microbe Interact.* 9:83–90.
- Barazani, O. and Friedman, J., 1999.** Is IAA the major root growth factor secreted from plant-growth-mediating bacteria? *J. Chem. Ecol.* 25:2397-2406.
- Benkolli M et Bouzeghaia B., (2016).** Etude biochimique de dix variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) Sous l'effet d'un stress oxydatif génère par un stress hydrique. Mémoire. Université. Mentouri. Constantine. P : 1-5-23
- Bhargava S et Sawant K., (2013).** Drought stress adaptation: metabolic adjustment osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat (*Triticum durum* Desf). Cultivars performing differently in arid conditions. 'Plant Science', 160(4), 669-681
- Blumer, C. and Haas, D., 2000.** Mechanism, regulation, and ecological role of bacterial cyanide biosynthesis. *Arch. Microbiol.* 173: 170-177.
- Bossis, E., Lemanceau, P., Latour, X. and Gardan, L., 2000.** The taxonomy of *Pseudomonas fluorescens* and *Pseudomonas putida*: current status and need for revision. *Agronomie* .20: 51-63.
- Bouchoukh I., (2010).** Comportement écophysiological de deux Chénopodiacées des genres *Atriplex* et *Spinacia* soumises au stress salin .p 16- 29- 6 -35.
- Boukachabia E., (1993.)** Contribution à l'étude de quelques mécanismes d'adaptation (*Triticum durum* Desf). Mémoire de Magister en production et physio Vég. Annaba, 108 P.
- Burd, G.I., Dixon, D.G. and Glick, B.R., 1998.** A plant growth-promoting bacterium that decreases nickel toxicity in seedlings. *Appl. Environ. Microbiol.* 64: 3663-3668.
- Campbell, J.I.A., Jacobsen, C.S. and Sorensen, J., 1995.** Species variation and plasmid incidence among fluorescent *Pseudomonas* strains isolated from agricultural and industrial soils. *FEMS. Microbiol. Ecol.* 18: 51-62.
- Carcanague, D.R., 1997.** Novel derivatives of pseudomonic acid. *Bioorganic Medicinal Chem. Lett.* 7(21): 2805-2808.

- Cattelan, A.J., Hartel, P.G. and Fuhrmann, J.J., 1999.** Screening for Plant Growth–Promoting Rhizobacteria to Promote Early Soybean Growth. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63:1670–1680.
- Chenafi H., Bouzerzour H., Aidaoui A et Saci A.,(2006).** Yield response of durum wheat (*Triticum durum*, Desf) cultivar Waha to deficit irrigation under semi arid growth conditions. *Asian Journal plant Science.*, 5: 854-860.
- Chin-A-Woeng, T.F.C., Bloemberg, G.V., Van der Bij, A., Van der Drift, K., Schripsema, J., Kroon, B., Scheffer, R., Keel, C., Bakker, P., Tichy, H., De Bruijin, F., Thomas-Oates, J. and Lugtenberg, B.J., 1998.** Biocontrol by phenazine-1-carboxamide-producing *Pseudomonas chlororaphis* PCL1391 of tomato root rot caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*. *Mol. Plant-Microbe Interact.* 11:1069–1077.
- Clays-Josserand, A., Lemanceau, P., Philippot, L. and Lensi, R., 1995.** Influence of two plant species (flax and tomato) on the distribution of nitrogen dissimilative abilities within fluorescent *Pseudomonas* spp. *Appl. Environ. Microbiol.* 61: 1745-1749.
- Cook, R., Bruckart, W., Coulson, J., Goettel, M., Lumsden, R., Maddox, J., McManus, M., Moore, L., Meyer, S., Quimby, P., Stack, J et Vaughn, J. (1996).** Sécurité des micro-organismes destinés à la lutte antiparasitaire et de lutte contre les maladies des plantes : un cadre pour l'évaluation scientifique. *Biol. Contrôle.* 14-24p.
- Cramer G.R.,(2002).** Salt tolerance is not associated with the sodium accumulation of two maize hybrids. *Aust. J. Plant Physiol.*, 21: 675-692.
- Cramer G.R., Alberico G.J., Schmidt C.,(1994).** Leaf expansion limits dry matter accumulation of salt-stressed maize, *Aust. J. Plant Physiol.* Article. Vol, 21.P :663–674.
- Digat, B. and Gardan, L., 1987.** Caractérisation, variabilité et sélection des souches bénéfiques de *Pseudomonas fluorescens* et *Pseudomonas putida*. *BullOEPP.* 17: 559-568
- Djermoun A., (2009).** La production céréalière en Algérie : les principales caractéristiques. *Revue Nature et Technologie.* 1 :45-53pp.
- Drevon J.J .,Saadallah K.,Hajji M., Abdelly C. (2001) :** “Genotypic variability for tolerance to salinity of N₂-fixing common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) “, *Agronomy*, 21, 675-682.
- Dwivedi, D. and Johri, B.N., 2003.** Antifungals from fluorescent pseudomonads: biosynthesis and regulation. *Curr. Sci.* 85(12): 1693-1673.
- Fridlender, M., Inbar, J. and Chet. I., 1993.** Biological control of soil-borne plant pathogens by a b-1,3-glucanase–producing *Pseudomonas cepacia*. *Soil Biol. Biochem.* 25:1211–1221
- Gaid S., (2015).** La tolérance à la salinité du pois chiche (*cicer arietinum* L.).Magister. Université Ahmed ben bala, Oran faculté des sciences Département de biologie, Laboratoire de physiologie végétale : 24.

- Gamble, T.N., Betlach, M. R. and Tiedje, J.M., 1977.** Numerically dominant denitrifying bacteria from world soils. *Appl. Environ. Microbiol.* 33: 926-939.
- Garbaye, J., 1994.** Helper bacteria: a new dimension to the mycorrhizal symbiosis. *New Phytol.* 128: 197-210.
- Garcia de Salmone, I. E., Hynes, R. K. and Nelson, L., 2001.** Cytokinin production by plant growth promoting rhizobacteria and selected mutants. *Can. J. Microbiol.* 47: 404-411.
- Glick, B.R., Jacobson, C.B., Schwarze, M.M.K. and Pasternak, J.J., 1994.** 1Aminocyclopropane-l-carboxylic acid deaminase mutants of the plant growth promoting rhizobacterium *Pseudomonas putida* GR12-2 do not stimulate canola root elongation. *Can. J. Microbiol.* 40: 911-915.
- Gurusiddaiah, S., Weller, D.M., Sarkar, A. and Cook, R. J., 1986.** Characterization of an antibiotic produced by a strain of *Pseudomonas fluorescens* inhibitory to *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* and *Pythium* spp. *Antimicrob. Agents Chemother.* 29:488-495.
- Gutterson, N., Ziegler, J.S., Warren, G.J. and Layton, T.L., 1988.** Genetic determinants for catabolite induction of antibiotic biosynthesis in *Pseudomonas fluorescens* HV37a. *J. Bacteriol.* 170: 380-385.
- Haichour R.,(2009).** Stress thermique et limite écologique du Chêne vert. Mémoire. Université Mentouri – Constantine – p : 12-24-49.
- Hamla C., (2016).** Caractérisation des gènes de tolérance à la sécheresse chez le blé dur : étude du rôle des déhydrines et des aquaporines. Thèse. Université Mentouri, Constantine Faculté de biologie Département de Biologie Végétale et Écologie. p32-33.
- Hernandez-Lucas, C., Royo, J., Paz-Ares, J., Ponz, F., Garcia-Olmedo, F. and Carbonero, P., 1986.** Polyadenylation site heterogeneity in mRNA encoding the precursor of the barley toxin a-hordothionin. *FEBS Lett.* 200: 103-105.
- Hilario, E., Buckley, T. and Young, J., 2004.** Improved resolution on the phylogenetic relationships among *Pseudomonas* by the combined analysis of *atpD*, *carA*, *recA* and 16S rDNA. *Antonie van Leeuwenhoek.* 86 : 51–64.
- Homma, Y., Kato, Z., Hirayama, F., Konno, K., Shirahama, H. and Suzui, T., 1989.** Production of antibiotics by *Pseudomonas cepacia* as an agent for biological control of soilborne plant pathogens. *Soil Biol. Biochem.* 21:723-728.
- Howell, C.R. and Stipanovic, R.D., 1980.** Suppression of *Pythium ultimum*-induced damping-off of cotton seedling by *Pseudomonas fluorescens* and its antibiotic, Pyoluteorin. *Phytopathol.* 70: 712-715.
- Hsu Y.T et Kao C.H., (2004).** Phosphinothricin tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings is associated with elevated abscisic acid in the leaves. *Bot. Bull. Acad. Sin.* 45: 41-48.

- Jabnune M., (2008.)** Adaptation des plantes au stress Salin : Caractérisation du transporteur de sodium et potassium de la famille HKT chez le riz .Thèse doctorat, Université. Montpellier II.P :36-37.
- Jourdan, E., M. Ongena, et P. Thonart. 2008.** Caractéristiques moléculaires de l'immunité des plantes induite par les rhizobactéries non pathogènes. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 12: 437-449
- Kara S et Zerguine M.,(2016)**. Dosage des anthocyanes et de la glycine bétaine en conditions de stress hydrique et étude des mécanismes de tolérances chez dix variétés du blé dur (*triticum durum* Desf.). Mémoire. Université des Frères Mentouri Constantine1. p : 1-9-19-28-29-34
- Keel, C., U. Schinder, M. Maurhofer, C. Voissard, J. Laville, P. Burger, P. Wirthner, Haas, D. and Défago, G., 1992.** Suppression of root diseases by *Pseudomonas fluorescens* CHA0: importance of the secondary metabolite 2,4-diacetylphloroglucinol. *Mol. Plant-Microbe Interact.* 5: 4-13.
- Leisinger, T. and Margraff, R., 1979.** Secondary metabolites of the fluorescent pseudomonads. *Microbiol. Rev.* 43(3): 422–442.
- Lemanceau, P., Offre, P., Mougel, C., Gamalero, E., Dessaux, Y., 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
- Lewis, T.A., Cortese, M., Sebat, J., Green, T., Lee, C.H. and Crawford R.L., 2000.** A *Pseudomonas stutzeri* gene cluster encoding the biosynthesis of the CCl₄-dechlorination agent pyridine-2,6-bis(thiocarboxylic acid). *Environ. Microbiol.* 2: 407–416
- Lezzar H et Meziani A.,(2015).** Recherche in silico et conception d'amorce des gènes de tolérance au stress abiotique chez le blé. Mémoire .Université des Frères Mentouri Constantine1.P :3-10.
- Mahajan S et Tuteja N., (2008).** Calcium- and salt-stress signaling in plants : Shedding light on SOS pathway. *Arch Biochem. Biophys.* 471: 146 – 158p.
- Martin, F. N. and Loper, J. E., 1999.** Soilborne plant diseases caused by *Pythium* spp.: Ecology, epidemiology, and prospects for biological control. *Crit. Rev. Plant Sci.* 18:111-181.
- Matsubara, T. and Zumft, W. G., 1982.** Identification of a copper protein as part of the nitrous oxide-reducing system in nitrite-respiring (denitrifying) pseudomonads. *Arch Microbiol.* 132: 322-328.
- Mavrodi, O.V., McSpadden Gardener, B.B., Mavrodi, D.V., Bonsall, R.F., Weller, D.M. and Thomashow, L.S., 2001.** Genetic diversity of *phlD* from 2,4-diacetylphloroglucinol-producing fluorescent *Pseudomonas* species. *Phytopathol.* 91: 35–43.
- Mazzola, M., Cook, R.J., Thomashow, L.S., Weller, D.M. and Pierson, L.S.III, 1992.** Contribution of phenazine antibiotic biosynthesis to the ecological competence of fluorescent pseudomonads in soil habitats. *Appl. Environ. Microbiol.* 58:2616-2624.

- Mena, K.D., and Gerba, C.P., (2009).** Risk Assessment of *Pseudomonas aeruginosa* in Water, *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 201, 71-115.
- Moenne-Loccoz, Y. and Berta, G., 2006.** Microbial ecology of the rhizosphere. In: *Microbiological methods for assessing soil quality*. Bloem, J., Hopkins, D.W. et Benedetti, A. (eds). CABI publishing, Massachusetts, Cambridge, MA, Etats-Unis, pp. 228-230.
- Mouellef A., (2010).** Caractères physiologiques et biochimiques de tolérance du blé dur (*Triticum durum* Desf.) au stress hydrique, mémoire. Université Mentouri, Constantine Faculté de biologie Département de Biologie Végétale et Écologie. p53.
- Mulet, M., Lalucat, J. and García-Valdés, E., 2010.** DNA sequence-based analysis of the *Pseudomonas* species. *Environ. Microbiol.* 12(6):1513–1530.
- Munns R., (2007).** Utilizing genetic resources to enhance productivity of salt-prone land. *CAB Rev: Perspectives in Agric. Veterinary Sci. Nutr. Nat. Res.* 2. No. 009.
- Munns, R. 2002.** Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ.* 25: 239- 250.
- Nielsen, T.H., Christophersen, C., Anthoni, U. and Sorensen, J., 1999.** Viscosinamide, a new cyclic depsipeptide with surfactant and antifungal properties produced by *Pseudomonas fluorescens* DR54. *J. Appl. Microbiol.* 87: 80-90
- Oukarroum A., (2007).** Vitalité des plantes d'orge (*Hordeum vulgare* L.) en conditions de stress hydrique et thermique analysée par la fluorescence chlorophyllienne. Thèse doctorat. Université De Genève.
- Paterson, A. H., Tanksley, S. D., Sorrells, M. E., (1991).** DNA markers in plant improvement. *Adv Agron*, 46: 39 - 90. protein 70 systems to reactivate a heat denatured protein. *Plant Physiol*, 122: 189- 198.
- Patten, C. L. et B. R. Glick. 2002.** Role of *Pseudomonas putida* indoleacetic acid in development of the host plant root system. *Appl. Env. Microbiol*, 68: 3795-3801.
- Peix, A., Ramírez-Bahena, M.H. and Velázquez, E., 2009.** Historical evolution and current status of the taxonomy of genus *Pseudomonas*. *Infect. Genet. Evolution*, 9: 1132–
- Ramos Solano, B., J. Barriuso Maicas, et F.J. Gutiérrez Mañero. 2008 a.** Physiological and molecular mechanisms of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR), p. 41 - 52. In : I.Ahmad, J. Pichtel et S. Hayat(ed.), *Plant-bacteria interactions*. Wiley -Vch, Weinheim.
- Sakthivel, N. and Gnanamanickal, S.S., 1987.** Evaluation of *Pseudomonas fluorescens* for Suppression of Sheath Rot Disease and for Enhancement of Grain Yields in Rice (*Oryza sativa* L.). *Appl. Environ. Microbiol.* 53(9):2056-2059.
- Salisbury, F.B., 1994.** The Role of Plant Hormones. In: *Plant-Environment Interactions*. Wilkinson, R.E. (ed.). Marcel Dekker, New York, USA., pp. 39-81

- Sandhya, V., S.K.Z. Ali, M. Grover, G. Reddy, et B. Venkateswarlu. 2009.** Alleviation of drought stress effects in sunflower seedlings by the exopolysaccharides producing *Pseudomonas putida* strain GAP-P45. *Biol. Fertil. Soils.* 46: 17-26.
- Sands , D.C. and Rovira, A.D., 1971.** Fluorescent *Pseudomonads* a Residual Component in the Soil Microflora? *J. Appl. Microbiol.* 34(1): 253–259.
- Sawada H., Kanaya S., Tsuda M., Suzuki F., Azegami K., Saitou N. (2002).** A phylogenomic study of the OCTase genes in *Pseudomonas syringae* pathovars : the horizontal transfer of the *argK-tox* cluster and the evolutionary history of OCTase genes on their genomes. *J Mol Evol* 54: 437-457.
- Schroth, M.N., Hildebrand, D.C. and Panopoulos, N., 1992.** Phytopathogenic pseudomonads and related plant-associated pseudomonads. In: *The Prokaryotes* (MP Balows, ed), Springer-Verlag, New York, pp. 3104-3131.
- Sentenac H., Berthomieu P., (2003).** Découverte d'un nouveau mécanisme de tolérance des plantes au sel. UMR Biochimie et physiologie moléculaire des plantes (Unité mixte Ecole nationale supérieure agronomique de Montpellier /Université/CNRS/ INRA) Service Presse INRA. 34p.
- Shah, S., Li, J., Moffatt, B.A. and Glick, B.R., 1998.** Isolation and characterization of ACC deaminase genes from two different plant growth-promoting rhizobacteria. *Can. J. Microbiol.* 44: 833-843.
- 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
- Talon D., Thouverez M., Bertrand X. (2006).** Role des *Pseudomonas* et apparentés dans les infections nosocomiales. XVIIe Congrès national de la SFHH. 22-24.
- Tripathy S, Kumar N, Mohanty S, Samanta M, Mandal RN and Maiti NK. (2006).** Characterisation of *Pseudomonas aeruginosa* isolated from freshwater culture systems. *Microbiol. Res.* 162:391-396.
- Visca, P., Imperi, F. and Lamont, I.L., 2007.** Pyoverdine siderophores: from biogenesis to biosignificance. *Trends Microbiol.* 15: 22–30.
- 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.
- Wang, Y., Wilks, J. C., Danhorn, T., Ramos, I., Croal, L. Et Newman, D. K. (2011).** Phenazine-1- carboxylic acid promotes bacterial biofilm development via ferrous iron acquisition. *J Bacteriol* 193, 3606-3617
- Weller, D.M. and Cook, R. J., 1983.** Suppression of take-all of wheat by seed treatments with fluorescent pseudomonads. *Phytopathol.* 73:463-469.
- Yaxley, J. R., J. J. Ross, L. J. Sherriff et J. B. Reid. 2001.** Gibberellin biosynthesis mutations and root development in pea. *Plant Physiol.*, 125: 627–633.

Zerroumda M., (2012). Approches physiologiques et métaboliques pour la sélection de variétés d'orge tolérantes vis-à-vis d'une contrainte saline. Thèse de doctorat. École Nationale Supérieure Agronomique -El Harrach –Alger Département d'Amélioration des Productions Végétales et Ressources Génétiques : 23-25.

Zhu, J.-K., (2001). Plant salt tolerance. Trends Plant. Article Sci. Vol, 6.P :66-71.

Zid E et Grignon C.,(1991). Les tests de sélection précoce pour la résistance des plantes au stress. Cas des stress salin et hydrique. Dans : L'Amélioration des Plantes pour l'Adaptation aux Milieux Arides. Ed. AUPELF-UREF, John LibbeyEurotext, Paris, pp. 91-108.

Annexe 2 : Analyse de variance de taux de germination (calcaire).

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var TOTALE	23117,639	35	660,504		
Var. FACTEUR 1	2796,056	2	1398,028	137,136	0,000
Var. FACTEUR 2	17409,194	3	5803,065	569,238	0,000
Var. INTER F1*2	2667,722	6	444,620	43,614	0,000
VAR.RESIDUELLE 1	244,667	24	10,194		

Annexe 3 : Analyse de variance de la longueur des racicules (calcaire).

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var TOTALE	466,496	35	13,328		
Var. FACTEUR 1	57,295	2	28,647	36,022	0,000
Var. FACTEUR 2	333,659	3	111,220	139,850	0,000
Var. INTER F1*2	56,455	6	9,409	11,831	0,000
VAR.RESIDUELLE 1	19,087	24	0,795		

Annexe 4 : Analyse de variance de la longueur des feuilles (calcaire).

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var TOTALE	2803,132	35	80,089		
Var. FACTEUR 1	706,368	2	353,184	76,485	0,000
Var. FACTEUR 2	1394,749	3	464,916	100,682	0,000
Var. INTER F1*2	591,191	6	98,532	21,338	0,000
VAR.RESIDUELLE 1	110,824	24	4,618		

Annexe 5 : Analyse de variance d'indice de vigueur (calcaire).

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var TOTALE	26877212,956	35	767920,370		
Var. FACTEUR 1	5891952,194	2	2945976,097	128,013	0,000
Var. FACTEUR 2	16138499,075	3	5379499,692	233,758	0,000
Var. INTER F1*2	4294446,070	6	715741,012	31,101	0,000
VAR.RESIDUELLE 1	552315,617	24	23013,151		

Annexe 6 : Analyse de variance de taux de germination (sel)

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var TOTALE	3588,741	26	138,028		
Var. FACTEUR 1	1923,852	2	961,926	108,217	0,000
Var. FACTEUR 2	1059,852	2	529,926	59,617	0,000
Var. INTER F1*2	445,037	4	111,259	12,517	0,000
VAR.RESIDUELLE 1	160,000	18	8,889		

Annexe 7 : Analyse de variance de longueur des racines (sel)

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var TOTALE	214,005	26	8,231		
Var. FACTEUR 1	32,250	2	16,125	651,365	0,000
Var. FACTEUR 2	124,746	2	62,373	2519,552	0,000
Var. INTER F1*2	56,564	4	14,141	571,221	0,000
VAR.RESIDUELLE 1	0,446	18	0,025		

Annexe 8 : Analyse de variance de longueur des feuilles (sel)

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var TOTALE	1613,412	26	62,054		
Var. FACTEUR 1	243,334	2	121,667	34,084	0,000
Var. FACTEUR 2	819,157	2	409,579	114,739	0,000
Var. INTER F1*2	486,667	4	121,667	34,084	0,000
VAR.RESIDUELLE 1	64,254	18	3,570		

Annexe 9: Analyse de variance d'indice de vigueur (sel)

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var TOTALE	12135867,696	26	466764,142		
Var. FACTEUR 1	1888641,870	2	944320,935	52,624	0,000
Var. FACTEUR 2	6269446,987	2	3134723,493	174,689	0,000
Var. INTER F1*2	3654775,584	4	913693,896	50,917	0,000
VAR.RESIDUELLE 1	323003,254	18	17944,625		