الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique Et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère De L'enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique

Université Constantine 1 Frères Mentouri
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

جامعة قسنطينة 1 الإخوة منتوري
كلية علوم الطبيعة والحياة

Département : Biologie et physiologie végétale

قسم : بيولوجيا و فيزيولوجيا النبات

Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Biologie et Physiologie de la reproduction

N° d'ordre :
N° de série :

Intitulé :

Effet PGPR des bactéries rhizosphèriques sur la croissance de quelques céréales cultivées à Constantine

Présenté par : SAOULI Fatima Belkis
KOULOUGHLI Lina Malak

Le : 23/06/2025

Jury d'évaluation :

Président : ZAGHAD Nadia (MCA - U Constantine 1 Frères Mentouri).

Encadrant : SAOUDI Mouna (MCA- U Constantine 1 Frères Mentouri).

Examinateur(s): MADI Aicha (MCA - U Constantine 1 Frères Mentouri).

Année universitaire
2024 – 2025

REMERCIMENTS

Avant tout, nous remercions Allah, le Tout-Puissant, qui nous a permis d'atteindre cette étape grâce à Sa miséricorde et Son aide tout au long de notre parcours.
Nous Le remercions également de nous avoir accordé la chance d'être encadrés par Madame Saoudi Mouna.

Nous exprimons notre profonde gratitude à notre encadrante, « Madame Saoudi Mouna » Pour sa bienveillance, son accompagnement précieux et ses conseils judicieux tout au long de ce travail. Nous la remercions tout particulièrement pour la confiance qu'elle nous a accordée et pour nous avoir donné l'opportunité de travailler sur ce sujet.

Nous présentons nos respects et nos remerciements aux membres du jury.

Présidente du jury « Dr Zeghad Nadia » et l'examinatrice « Dr Madi Aicha » qui nous ont fait l'honneur d'accepter d'évaluer notre travail.

Nous remercions aussi l'ensemble des enseignants et membres du département de biologie pour la qualité de leur enseignement et leur encadrement durant toutes nos années d'études.

Dédicace

Louange à Allah qui m'a accordé la force et la persévérance d'achever ce mémoire de fin d'études.
Avant tout, je dédie ce travail à moi-même, en reconnaissance de ma patience, ma ténacité et mes efforts continus. Je suis fière du chemin parcouru et j'espère que ce travail marquera le début d'un avenir prometteur, empli de réussite. Qu'Allah m'accorde une science qui élève mon rang ici-bas et dans l'au-delà.

À ma bien-aimée, douce âme et paradis sur terre, ma mère **Himoud Hassina**, je dédie le fruit de plusieurs mois de travail. Tu as toujours été la meilleure conseillère, amie et source de soutien.

À mon pilier, mon réconfort, celui qui porte nos fardeaux sans faiblir, mon père **Saouli Nadir**, merci pour ta présence inébranlable à nos côtés. Je te dédie cette réalisation avec toute ma gratitude.

À ma compagne de vie, ma sœur **Chamail**, pour son soutien moral constant tout au long de cette période.

À la joie (et le désordre !) de la maison, mon petit frère **Baraa**, tu as toujours su mettre un sourire sur mon visage.

À ma grand-mère, ma seconde mère, dont les prières et la bienveillance m'ont accompagnée jusqu'ici. À mon grand-père, dont les derniers mots furent une invitation à poursuivre le savoir — que Dieu leur fasse miséricorde.i

À ma tante **Fatima**, véritable seconde maman, à mes tantes **Fairouz** et **Chahra**, à mes oncles, je vous dédie ce travail avec affection.

À mes chères amies, compagnes de route : **Chaima, Dikra et Hazare**, merci pour votre présence sincère et votre soutien.

Enfin, je dédie ce travail à tous ceux qui ont croisé mon chemin et enrichi ma vie : à ma famille, mes professeurs et toutes mes amies.

Belkis

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

À mes chers parents, pour leur amour infini, leurs sacrifices silencieux, et leurs prières constantes. Votre soutien a été la lumière qui a guidé chacun de mes pas.

À mes sœurs bien-aimées, Rayan et Saba, pour leur tendresse, leur complicité, et leur présence rassurante dans ma vie. Vous êtes ma force douce.

À mon mari raouf pour sa patience, son encouragement de chaque instant, et sa foi en moi, même dans les moments les plus difficiles. Ta présence m'a portée jusqu'au bout.

À ma famille toute entière, pour leur chaleur et leurs mots motivants.

À mes amies et collègues, pour leur soutien moral, leurs sourires et leur aide précieuse tout au long de ce parcours.

À tous ceux qui ont cru en moi et m'ont inspirée à aller toujours plus loin.

Lina Malak

Résume

Notre travail se concentre sur l'étude des bactéries rhizosphériques promotrices de croissance des plantes (PGPR) et leur interaction avec différentes espèces céréalières cultivées en Algérie. L'objectif principal de ce travail est de mettre en évidence l'effet bénéfique de ces bactéries sur la croissance des plantes et leur capacité à inhiber les agents pathogènes, notamment les champignons du genre *Fusarium.*

Pour atteindre cet objectif, une synthèse bibliographique a été proposée. Elle traite d'abord les céréales sous l'angle historique, économique et botanique, puis présente le concept de rhizosphère et ses diverses interactions biologiques. Une attention particulière a été portée sur le rôle des PGPR dans la nutrition, la croissance et la protection des plantes.

Pour illustrer l'effet de ces bactéries, un volet expérimental a été réalisé. Il consiste à évaluer l'impact de plusieurs isolats bactériens sur la croissance de différentes céréales (blé dur, blé tendre, orge, triticale) et sur la résistance face aux infections fongiques induites par *Fusarium sp.*

Les résultats obtenus montrent que certaines souches PGPR, ont significativement stimulé la croissance des parties aériennes et racinaires des céréales testées, tout en réduisant l'effet pathogène du *Fusarium* sp avec ces deux espèces testées. Ces observations confirment le potentiel biostimulant et bioprotecteur des PGPR dans le contexte agroécologique local.

Les mots clés : Céréales**,** PGPR, Rhizosphère, *Fusarium.*

Abstract

Our work focuses on the study of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and their interaction with various cereal species cultivated in Algeria. The main objective of this study is to highlight the beneficial effects of these bacteria on plant growth and their ability to inhibit pathogens, particularly fungi of the *Fusarium* genus.

To achieve this goal, a literature review was conducted. It first addresses cereals from historical, economic, and botanical perspectives, then introduces the concept of the rhizosphere and its various biological interactions. Special attention was given to the role of PGPR in plant nutrition, growth, and protection.

To illustrate the effect of these bacteria, an experimental study was carried out. It aims to evaluate the impact of several bacterial isolates on the growth of different cereals (durum wheat, soft wheat, barley, and triticale) and their resistance to fungal infections caused by *Fusarium* species.

The results obtained show that certain PGPR strains significantly stimulated the growth of the aerial and root parts of the tested cereals, while reducing the pathogenic effect of *Fusarium* sp. These observations confirm the biostimulant and bioprotective potential of PGPR in the local agroecological context.

Keywords : Cereals**,** PGPR , Rhizosphère, *Fusarium*

ملخص

يركز عملنا على دراسة البكتيريا المتواجدة في منطقة الجذور البكتيريا الجذرية المحفزة لنمو النباتات (PGPR) وتفاعلها مع مختلف أنواع الحبوب المزروعة في الجزائر. الهدف الرئيسي من هذا العمل هو إبراز التأثير الإيجابي لهذه البكتيريا على نمو النباتات وقدرتها على تثبيط العوامل الممرضة، لا سيما الفطريات من جنس *Fusarium*.

لتحقيق هذا الهدف، تم تقديم مراجعة أدبية تتناول موضوع الحبوب من الجوانب التاريخية والاقتصادية والبوطنية، كما تستعرض مفهوم الجذور (الريزوسفير) وتفاعلاته البيولوجية المختلفة. وقد تم التركيز بشكل خاص على دور بكتيريا PGPR في تغذية النباتات ونموها وحمايتها.

ولتوضيح تأثير هذه البكتيريا، تم إنجاز جانب تجريبي يتمثل في تقييم تأثير عدة عزلات بكتيرية على نمو أنواع مختلفة من الحبوب (القمح الصلب، القمح اللين، الشعير، التريتيكال) وعلى مقاومتها للإصابات الفطرية الناتجة عن *Fusarium sp* أظهرت النتائج المحصل عليها أن بعض السلالات من بكتيريا PGPR حفّزت بشكل ملحوظ نمو الأجزاء الهوائية والجذرية للحبوب المدروسة، مع تقليص التأثير المُمْرض لفطريات *Fusarium* sp وتؤكد هذه الملاحظات القدرة التحفيزية والوقائية الحيوية لبكتيريا PGPR في السياق الزراعي البيئي المحلي.

الكلمات المفتاحية : الحبوب، PGPR، ريزوسفير، *Fusarium*.

Sommaire

Liste des tableaux
Liste des figures
Liste des Abréviations
Résumé
Abstract
ملخص
Introduction 1
Partie 1 : Synthèse bibliographique
I. Généralités sur les céréales 4
1. Importance économique des céréales au niveau mondial 4
2. Les céréales en Algérie 5
2.1. Historique des céréales en Algérie 5
2.2. Importance économique des céréales en Algérie 5
3. Quelques exemples de céréales 5
3.1. Le blé (*Triticum spp.*) 5
a. Classification botanique 6
b. Blé tendre (*Triticum aestivum*) 6
c. Blé dur (*Triticum durum*) 6
d. Les variétés du blé 6
3.2. L'orge (*Hordeum vulgare*) 7
a. Classification botanique 8
b. Les variétés de l'orge 8
4. Les maladies fongiques 9
4.1. Fusariose 9
II. La rhizosphère et ses interactions avec les céréales 9
1. Définition du sol 9
2. Définition de la rhizosphère 9
3. Rôle de la rhizosphère 10
4. Les différentes interactions dans la rhizosphère 11
4.1. Interactions entre microorganismes 11
4.2. Interactions plantes-microorganismes 11

5. Effet de la rhizosphère sur la plante 12
6. Effet des PGPR sur la croissance végétale 13
III. Les Rhizobactéries promotrices de la croissance des plantes (PGPR) 13
1. Mode d'action des PGPR (Interactions PGPR/plante) 13
1.1. Promotion de la croissance de l'hôte 13
a. Fixation d'azote 13
b. Solubilisation des phosphates 14
c. Production des sidérophores 14
d. Production de régulateurs de croissance végétale 14
1.2. Protection contre divers phytopathogènes 15
a. Compétition pour l'espace et les nutriments 15
b. Antibiose 15
c. Résistance systémique induite (ISR) 15
Partie 2 : Matériel et méthode
1.Matériel végétal 18
1.1. Germination des graines 18
2.Matériel bactériologique 19
2.1. Repiquage des souches 19
2.2. Conservation des souches bactériennes 19
2.3. Inoculation des céréales 19
3.Matériel fongique 19
3.1. Repiquage du champignon 20
3.2. Inoculation du champignon 20
Partie 3 : Résultats et discussion
1.Effet des bactéries rhizosphériques sur la croissance des céréales 23
1.1. Variétés ARZ et TB 23
1.2. Variétés DK et AA 23
1.3. Variétés OR R et OR F 24
1.4. Variété OZ 24
2.Effet des bactéries sur le poids des parties aériennes et racinaires 25
2.1. Effet sur les céréales ARZ et TB 25
2.2. Effet sur les céréales DK et AA 26
2.3. Effet sur les céréales OR F et OR R 03 27

3.Effet d'antagonisme des bactéries vis-à-vis des phytopathogènes *Fusarium* 29
3.1. Effet vis-à-vis de *Fusarium pseudograminearum* 29
3.2. Effet vis-à-vis de *Fusarium culmorum* 29
4.Effet des bactéries sur la croissance des céréales en présence du phytopathogène 30
Conclusion 32
Références bibliographiques 34
Annexes

Liste des tableaux

Tableau 1 : La description botanique de différente variétés du blé dur et tendre**……6**

Tableau 2 : La description botanique de différente variétés de l'orge **……...…..8**

Liste Des Figures

Figure 1: les céréales les plus importants**……..……..8**
Figure 2 : Représentation schématique des zones de la rhizosphère**……..…….10**
Figure 3 : L'effet rhizosphère du sol**……..……..12**
Figure 4 : Germination des graines dans des conditions aseptiques**……..……18**
Figure 5 : Aspect macroscopique *Fusarium sp***…….…..…20**
Figure 6: Test d'antagonisme **…….……..…….....20**
Figure 7: Diagrammes représentant la longueur **ARZ……23**
Figure 8: Diagrammes représentant la longueur ***OZ*……..……..23**
Figure 9 longueur des parties aériennes et racinaires de ***DK*……..…..24**
Figure 10: longueur des parties aériennes et racinaires de ***AA*…….....…..24**
Figure 11: longueur des parties aériennes et racinaires d'***OR R*…….…25**
Figure 12: longueur des parties aériennes et racinaires ***d'OR F*……..…...26**
Figure 13: longueur des parties aériennes et racinaires de ***TB*……..……26**
Figure 14: poids des parties aériennes et racinaires de ***ARZ*…….....27**
Figure15 : poids des parties aériennes et racinaires de ***OZ*…….…..…..28**
Figure16 : poids des parties aériennes et racinaires de ***AA*…….....29**
Figure17 : poids des parties aériennes et racinaires de ***DK*……..…….....…...29**
Figure18 : poids des parties aériennes et racinaires de ***OR R*…….....…….30**
Figure19 : poids des parties aériennes et racinaires de ***OR F*……..…...31**
Figure 20: poids des parties aériennes et racinaires de ***TB*…….…*32***
Figure 21 : Test d'antagonisme F7 **……...33**
Figure 22 : Test d'antagonisme F1 **……..33**
Figure23 Effet des PGPR sur les céréales en présence du pathogène**……34**

Liste des Abréviation

PGPR : Plant growth promoting rhizobacteria

PDA : Potato dextrose agar

PDB : : Potato dextrose agar

BN : Bouillon Nutritif

GN : Gélose nutritif

ARZ : blé dur

DK : blé tendre Djneh Khetifa

OR R: Orge Rihane 03

OR F: Orge Fouara

OZ : blé dur Oued Zenati

AA : blé tendre Ain Abid

TB : Triticale Boutinel

AIA : Acide indole acétique

ISR : Résistance systémique induite

LPS : Lipo polysaccharides

Fe3+: le fer ferrique

P : Le phosphore

INTRODUCTION

Introduction :

Les céréales occupent à l'échelle mondiale une place primordiale dans le système agricole. Elles sont considérées comme les principales sources de la nutrition humaine et animale (Slama et *al*, 2005).

En Algérie, les produits céréaliers occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale. La production des céréales, jachère comprise, occupe environ 80% de la Superficie Agricole Utile (SAU) du pays, La superficie emblavée annuellement en céréales se situe entre 3 et 3 ,5 million d'ha. Les superficies annuellement récoltées représentent 63% des emblavures (STAT, 2019).

La culture des céréales a été et restera la spéculation prédominante de l'agriculture Algérienne. Elle fait partie de nos mœurs et constitue l'alimentation de base de notre peuple (Chetmi, 2009).

L'agriculture du XXIe siècle est confrontée à des défis majeurs tels que le déclin de la productivité et la dégradation des sols, menaçant la sécurité alimentaire mondiale. Selon les estimations des Nations Unies, la population mondiale devrait atteindre environ 9 milliards d'ici 2050 (United Nations, 2001). Pour répondre à ces besoins croissants, des engrais chimiques et des pesticides sont largement utilisés pour augmenter la production agricole (Rubio et *al*., 2013). Cependant, cette utilisation excessive a entraîné une pollution de l'environnement et une dégradation continue des sols agricoles, compromettant leur qualité et leur fertilité (Cedeño et *al*., 2021).

En parallèle, malgré l'importance stratégique des cultures céréalières, leur rendement reste souvent limité par divers facteurs abiotiques (sécheresse, salinité...) et biotiques. Parmi ces contraintes, les maladies fongiques représentent une menace majeure, notamment la fusariose, causée principalement par le genre *Fusarium*. Cette maladie engendre non seulement des pertes de production significatives, mais altère également la qualité sanitaire des grains en produisant des mycotoxines dangereuses pour l'homme et les animaux (INPV, 2015).

Parmi les microorganismes établissant une symbiose associative avec la plante, se trouve un ensemble de bactéries qualifiées de PGPR (Rhizobactéries Promotrices de la Croissance des Plantes) pour leurs effets stimulateurs de la croissance des plantes qu'elles colonisent. Ces rhizobactéries sont présentes dans une zone d'interface entre la plante et le sol, appelée rhizosphère (Qureshi., 2012). Ces bactéries intéressantes sont libres ou liées, colonisent les

racines, stimulent la croissance des plantes et augmentent le rendement. Ces PGPR sont aussi connus pour leur capacité à induire une résistance contre divers microorganismes phytopathogènes. (De Salamone et *al.*, 2005).

Ces bactéries bénéfiques, naturellement présentes dans la rhizosphère, peuvent stimuler la croissance des plantes, améliorer l'absorption des nutriments et renforcer leur résistance aux agents pathogènes par divers mécanismes directs et indirects (Kloepper et *al*., 1980 ; Glick, 2012).

Notre travail s'inscrit dans une approche biologique et durable. Il vise à évaluer l'effet de différentes souches de PGPR sur la croissance de plusieurs espèces de céréales (blé dur, blé tendre, orge, triticale), ainsi que leur potentiel à protéger ces plantes contre le champignon *Fusarium* dans des conditions de laboratoire.

Ce mémoire est structuré en trois grands chapitres :

- Le premier chapitre présente une synthèse bibliographique sur les céréales, les maladies fongiques qui les affectent, La rhizosphère et ses interactions avec les céréales, Effet des PGPR sur la croissance végétale.
- Le deuxième chapitre est consacré à la description du matériel utilisé et à la méthodologie expérimentale adoptée.
- Le dernier chapitre expose les résultats obtenus, leur interprétation et discussion, suivis d'une conclusion générale.

Chapitre 01 :

Synthèse bibliographique

I-Généralités sur les céréales :

Le mot céréale provient de latin "cerealis" (Benabdallah, 2016) désigne toutes les plantes de la famille des graminées (Poaceae) à l'exception du sarrasin qui appartient à la famille des Polygonaceae. Les céréales possèdent des graines amylacées utilisables pour l'alimentation humaine ou animale. Elles représentent une ressource alimentaire majeure pour l'homme en raison de leur forte source d'énergie et leur teneur en protéines (Moule, 1971).

En résume, les céréales c'est l'ensemble des plantes annuelles cultivées en vue de l'obtention de graines (Belaïd, 1986) qui constituent la base de l'alimentation humaine depuis l'apparition de l'agriculture au néolithique il y a 10000ans.

Eu total on compte 13 céréales : Blé tendre –Blé dur – Maïs –Riz –Orge –Seigle – Sarrasin–Sorgho– Millet– Avoine –Quinoa –Triticale– Épeautre et Engraine (Benabdallah, 2016).

La céréaliculture est très ancienne, on trouve des traces de blé, de seigle, d'avoine, et d'orge dès le Néolithique. Le riz, le millet, le sorgho, le blé étaient cultivés 2700 ans avant notre ère en Chine ; les Égyptiens de l'ancienne Égypte connaissait le blé et le sorgho. Les céréales ont d'autre part joué un rôle capital dans le développement de l'humanité, la plupart des civilisations se sont développées autour d'une céréale : les civilisations asiatiques, autour de la culture du riz ; les civilisations précolombiennes, autour du maïs ; les civilisations babyloniennes et égyptiennes, autour du blé. Elles ont une grande importance économique parce qu'elles apportent sous un petit volume, une matière première très riche en calories, facilement transportable et conservable, c'est alors un aliment concentré (Moule, 1971).

1. Importance économique des céréales au niveau mondial

En 2016, la production céréalière mondiale a atteint environ 2 526 millions de tonnes (Mt), pratiquement les mêmes chiffres qu'en 2015. Cette récolte « est en passe de devenir probablement la deuxième plus grande récolte mondiale de l'histoire », selon les chiffres publiés par la FAO en 2016. Ces chiffres plus élevés s'expliquent principalement par de meilleures productions de blé. Concernant les céréales secondaires, notamment l'orge, le maïs, le millet, l'avoine, le seigle et le sorgho, et par manque de statistiques récentes la FAO table sur 1 314 Mt, soit environ 1 % de moins qu'en 2015(FAO, 2016).

2. Les céréales en Algérie :

2.1. L'historique des céréales en Algérie :

Nous pouvons trouver plusieurs traces dans la Numidie "Ancienne Algérie" qui attestent que la culture céréalière était développée avant le troisième siècle (Bessaoud, 1999). L'Aumont (1937), a déclaré que l'orge qui était cultivée de tout temps par les autochtones algériens, a occupé dans les emblavures une place prépondérante supérieure à celle accordée au blé dur et parfois même à celle réservée au blé dur et au blé tendre réunis (Benabdallah, 2016).

La culture d'orge a été en augmentation continue jusqu'au début du XXème siècle. Durant la colonisation, les colons ont introduit la culture de blé tendre en Algérie à partir de 1854 (Benabdallah, 2016).

2.2. Importance économique des céréales en Algérie

Le total de la production nationale des céréales est de 3,6 millions de tonnes, soit deux Millions de tonnes de blé dur, 1 million de tonnes d'orge et 6361849 tonnes de blé Tendre. Selon le bilan de la campagne céréalière 2014 /2015, quinze (15) wilayas ont enregistré une production dépassant la barre d'1 million de quintaux, les wilayas de Tiaret et Ain Temouchent se classent successivement première et deuxième avec près de 3,5 millions pour la première wilaya et près de 2,5 millions pour la seconde. La wilaya de Constantine a enregistré 1083100 quintaux de blé dur, 412 780 quintaux de blé tendre et 99790 quintaux d'orge. La consommation des produits céréaliers se situe à un niveau d'environ 205 kg/ hab/an (Chehat, 2007).

3. Quelques exemples de céréales :

3.1. Le blé (Triticum spp.) :

L'ensemble des espèces de blé appartiennent au genre Triticum et de la famille Graminées (Feillet, 2000). C'est une des premières céréales cultivées dans le monde. D'après Soltner (2005) cette plante annuelle au cycle végétatif de 250 à 280 jours.

Il se compose de :

- La tige rectiligne creuse est cloisonnée par des nœuds pleins et renflés : ce genre de tige a reçu le nom de chaume.
- Les feuilles qui prennent naissance au niveau des nœuds sont disposées en deux rangées opposées autour de la tige.
- L'épi est composé de petits épis ou épillets. Chaque épillet est enveloppé de deux bractées protectrices appelées glumes.

- La fleur est verdâtre et dépourvue de corolle : il n'y a pas de pétales colorés.

a. Classification botanique :

D'après Feillet(2000), le *Triticum* suit la position systématique suivante

Règne : Plantae

Embranchement : Angiospermes

Sous embranchement : Spermaphytes

Classe : Monocotylédones

Ordre :Glumiflorales

Super-ordre : Comméliniflorales

Famille : Graminée (Poaceae)

Sous-famille : *Pooideae*

Tribu : *Triticeae*

Sous tribu : *Triticinae*

Genre : *Triticum*

Les deux principales espèces actuellement cultivées sont le ***Triticum aestivum*** et ***Triticum durum.***

b. Blé tendre (*Triticum aestivum)*:

C'est une espèce riche en amidon et destiné à l'industrie de la meunerie cela permet d'obtenir une farine de bonne qualité (Fredot, 2012). Les principaux produits fabriqués à base de blé tendre : pain, biscottes, biscuits (Jean-Pierre et Ruth, 2018).

c. Blé dur (*Triticum durum*):

Cultivé dans des zones plus chaudes et plus sèches. Cette espèce est riche en amidon et en gluten avec des grains plus durs, translucides, difficiles à réduire en farine, ce qui pourrait apparaître comme un défaut pour sa qualité principale. Ces grains, que l'on dit corné, sont recherchés pour confectionner les semoules et les pâtes alimentaires (Jean-Pierre et Ruth, 2018).

d. Les variétés du blé :

Les principales variétés du blé tendre et dur sélectionnées par Institut Technique des Grandes Cultures (l'ITGC, 2019) sont les suivants :

Tableau 1 : la description botanique de différente variétés du blé dur et tendre

Variétés	Caractéristiques
Waha"s"(blé Dur)	Tolérante au froid, à la rouille et à la septoriose. Sensible à la sécheresse, aux gelées et au piétin verse. Bonne valeur semoulière, indice de jaune variable, teneur en protéines suffisante. Qualité pastière médiocre, les pâtes ne supportent pas la surcuisson.

Tableau 1 : La description botanique de différente variétés du blé dur et tendre (suite)

Variétés	Caractéristiques
Hedba3(blé Dur)	Tolérante au froid et à la sécheresse, sensible aux rouilles, septoriose et oïdium. Bonne valeur semoulière, indice de jaune faible, teneur en protéines élevée, qualité pastière médiocre.
Gta dur (blé Dur)	Tolérante à la verse, à la rouille brune et à l'oïdium. Productivité moyenne à bonne.
HD1220 (Hiddab) (blé tendre)	Paille moyenne, cycle végétatif précoce, tallage moyen à fort, modérément tolérante aux rouilles, PMG moyen, blé correcteur, bonne (blé tendre) productivité, adaptée au littoral, plaines intérieures, Hauts-Plateaux et zone saharienne, modérément résistante à la verse, à semer de mi-novembre à mi-décembre.
Arz (blé Tendre)	Paille moyenne, cycle végétatif précoce, tallage fort, assez sensible à la rouille brune , jaune et carie, tolérante à la rouille noire fusariose et septoriose, PMG moyen, blé correcteur, bonne productivité, adaptée au littoral, plaines intérieures, résistante à la verse, à semer de mi- novembre à mi-décembre.

I-3-2. L'orge (*Hordeum vulgare*) :

L'orge (*Hordeum vulgare*), est une monocotylédone de la famille des Graminées « Poaceae » (Soltner, 2005). La distribution très large va de pair avec une diversification morphologique et adaptation très étendue. C'est une plante cultivée sur sols calcaires aux labours profonds (Zohary, 1973). D'après Soltner (2005) l'orge a un cycle végétatif court 130 à 150 jours. Elle est utilisée pour l'alimentation animale, et la fabrication de la bière (Akar et *al*., 2004) .

a. Classification botanique

D'après Chadefaud et Emberger (1960), Feillet (2000), l'orge cultivée appartient à la classification suivante :

Règne : Plantae

Division : Magnoliophyta

Classe : *Liliopsida*

Sous-classe *: Commelinidae*

Ordre : *Poale*

Famille : *Poaceae (ex Graminées)*

Sous-famille : *Hordeoideae*

Tribu : *Hordeae*

Sous-tribu : *Hordeinae*

Genre : *Hordeum*

b. Les variétés de l'orge :

Quelques variétés d'orge, sélectionnées par (l'ITGC, 2019) sont cultivées en Algérie. Le choix de la variété à utiliser dépend de ses caractéristiques agronomiques et de la zone de culture.

Tableau 2 : La description botanique de différente variétés de l'orge

Variétés	Caractéristiques
Jaidor (Dahbia)	À paille courte, précoce, fort tallage, bonne productivité, tolérante aux maladies et à la verse, sensible au gel et a l'égrenage.
Rihane 03	À paille courte, précoce, fort tallage, bonne productivité, à double exploitation.
ACSAD 68(Remada)	Précoce, à fort tallage et bonne productivité. Elle est tolérante aux rouilles et à la verse, adaptée aux zones de plaines intérieures.
Barberousse(Hamra)	À paille moyenne, précoce, tallage moyen, bonne productivité, tolérante à la verse, à la sécheresse et au froid.
Saida 183	Variété locale, semi-tardive, à paille moyenne et creuse, tallage moyen, bonne productivité, sensible aux maladies.

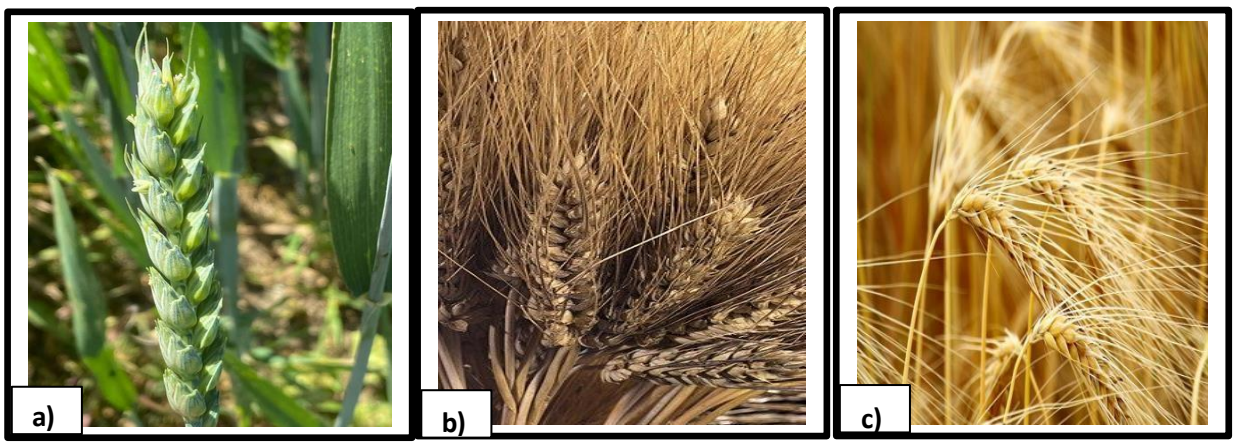

Figure 1: les céréales les plus importants, **a)** *Triticum aestivum, b***)** *Triticum durum* **c)***Hordeum vulgare (*source:aujardin.info)

4. Les maladies fongiques

Les champignons sont des micro-organismes. La plupart d'entre elles existent sous forme de mycélium. La plupart des champignons pathogènes sont des saprophytes facultatifs capables de croître sur cultures ou sur tissus de plantes mortes ; d'autres sont des parasites obligatoires qui existent seulement en association intime avec des plantes vivantes (Weise, 1987 ; Nasraoui, 2006). La plupart des maladies (environ 80 %) des plantes cultivées, sont dues aux champignons microscopiques, (Geigy et al., 1985 ; Lepoivre, 2003 ; Nasraoui, 2006).

4.1. Fusariose

La fusariose est une maladie fongique nuisible sur une gamme de la majorité des céréales. Elle peut être causée par une vingtaine d'espèces du genre Fusarium (Bettou et Righi, 2018). Cette maladie présente une incidence directe sur les rendements provoquant une diminution de qualité et de nombre de grains par épi accompagnée du risque de présence de mycotoxine dans les grains (Derdj, 2017).

II. La rhizosphère et ses interactions avec les céréales

1. Définition de sol

Le sol est la couche supérieure de la croûte terrestre, composée de matière minérale, de matière organique, d'eau, d'air et d'organismes. Il dispose de son atmosphère interne, ainsi que d'une flore et d'une faune spécifiques. Les sols proviennent de l'altération et de la transformation des roches sous l'action de la vie, de l'atmosphère et des échanges d'énergie qui s'y manifestent (Barles et *al*., 1999).

Les micro-organismes présents dans le sol sont impliqués dans le recyclage de nombreux éléments chimiques (carbone, azote, phosphore, soufre, fer, et autres).il s'agit surtout de ceux impliqués dans la formation et la dégradation de l'humus. Ainsi que ceux ayant un rôle important dans la solubilisation des composants organiques et inorganiques inaccessibles aux plantes (Ameur, 2014).

2. Définition de la rhizosphère

Ce concept mis par le chercheur allemand Lorenz Hiltner en 1904, correspond au volume du sol autour des poils absorbants des plantes supérieures où prolifèrent des organismes vivant (bactéries, champignons…etc.). Le terme "rhizosphère" tire son origine du grec "rhizo" ou "rhiza" signifiant racine et "sphére" signifiant champ d'action ou d'influence (Valencia,2008).

Par rapport aux racines, la rhizosphère peut être divisée en trois zones distinctes :

-l'endorhizosphère comprend des parties du cortex et de l'endoderme dans lesquelles lesmicrobes et les cations peuvent occuper l'espace libre entre les cellules (espace apoplastique), de ce fait, le contact entre la plante et les microorganismes aura lieu à l'intérieur des racines.

-le rhizoplan représente la zone médiane directement adjacente à la racine, y compris l'épiderme racinaire et le mucilage

-l'ectorhizosphère représente la zone extérieure qui se trouve directement après le rhizoplan (David and McNear, 2013).

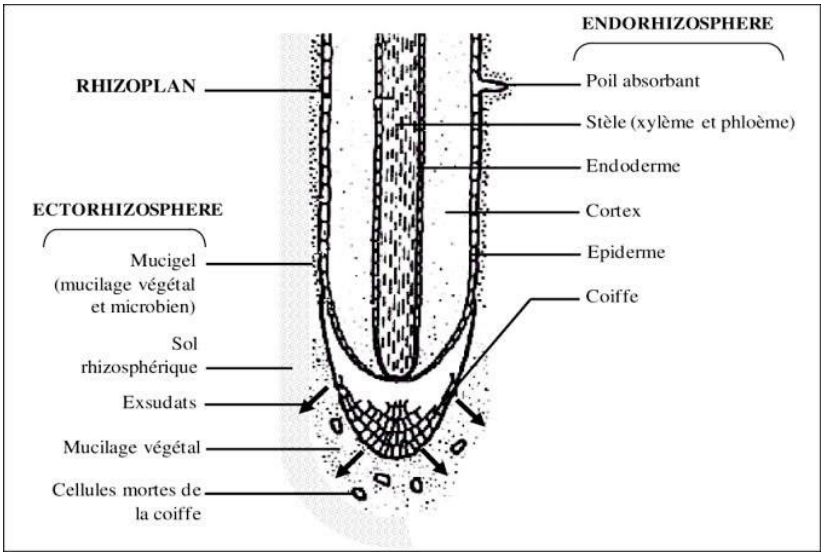

Figure 2 : Représentation schématique des zones de la rhizosphère (Lepinay, 2013).

3. Rôle de la rhizosphère

-La rhizosphère joue un rôle actif dans la régulation des interactions entre plantes et microorganismes (Hirsch et *al.*, 2003).

-C'est une zone de vie, où les exsudats racinaires, d'une part, permettent le développement d'une faune et d'une flore spécifiques et d'autre part, permettent le développement d'une flore symbiotique qui assure une bonne croissance aux plantes, en produisant de substances bénéfiques à la croissance comme les phytohormones et les antibiotiques assurant la protection contre des phytopathogènes.

C'est une niche écologique qui éveille et stimule diverses activités microbiennes, en participant ainsi, au fonctionnement des cycles des nutriments majeurs et des oligoéléments comme le carbone, l'azote, le phosphore, le fer, etc (De Carne, 2010).

4. Les différentes interactions dans la rhizosphère

Il existe différentes interactions dans la rhizosphère. Les processus racinaires impliqués dans ces interactions sont entre autres la rhizodécomposition, la respiration de la racine, l'absorption d'eau et des nutriments (Bazot, 2005).

4.1 Les interactions entre les microorganismes

Les microorganismes en particuliers les bactéries sont fréquemment impliquées dans une multitude d'interactions non génétiques avec d'autres microorganismes, notamment au niveau de la rhizosphère. Ces interactions sont souvent nutritionnelles. Un micro-organisme dépend d'un autre micro-organisme pour la dégradation de produits ou de substrats spécifiques, ou différents microorganismes sont en compétition pour le même substrat (Trevors & Van Elsas, 1997).

Dans d'autres cas, un microorganisme peut exercer un effet nuisible sur les autres microorganismes, par exemple par la production d'antibiotiques ou de composés toxiques.

Les interactions entre populations microbiennes peuvent être reconnues comme des interactions négatives (compétition, amensalisme), positives (commensalisme, synergie et mutualisme), ou positives pour l'un et négatives pour l'autre population (parasitisme ou prédation) (Djigal, 2003).

4.2. Les interactions plantes-microorganismes

L'ensemble de ces exemples illustre la boucle de rétroaction à laquelle peuvent être assimilées les interactions plantes-microorganismes dans la rhizosphère (Lemanceau et *al*., 2006).

-La plupart des études sur la microbiologie de la rhizosphère, en particulier celles décrivant les interactions symbiotiques plante-microorganismes, se concentrent uniquement sur les bactéries et les champignons. Par conséquent, il a été rapporté par Clémentine (2013) que ces deux microorganismes ont des habitudes nutritionnelles différentes, et diverses relations saprophytes ou symbiotiques, qu'elles soient nocives (pathogènes) ou bénéfiques (mutuelles).

Les bactéries et les champignons saprophytes bénéfiques favorisent la croissance et la santé des plantes. Les symbiotes mutualistes bénéfiques pour les plantes comprennentles bactéries fixatrices d'azote (N2) et les champignons mycorhiziens arbusculaires (Barea et *al*., 2005).

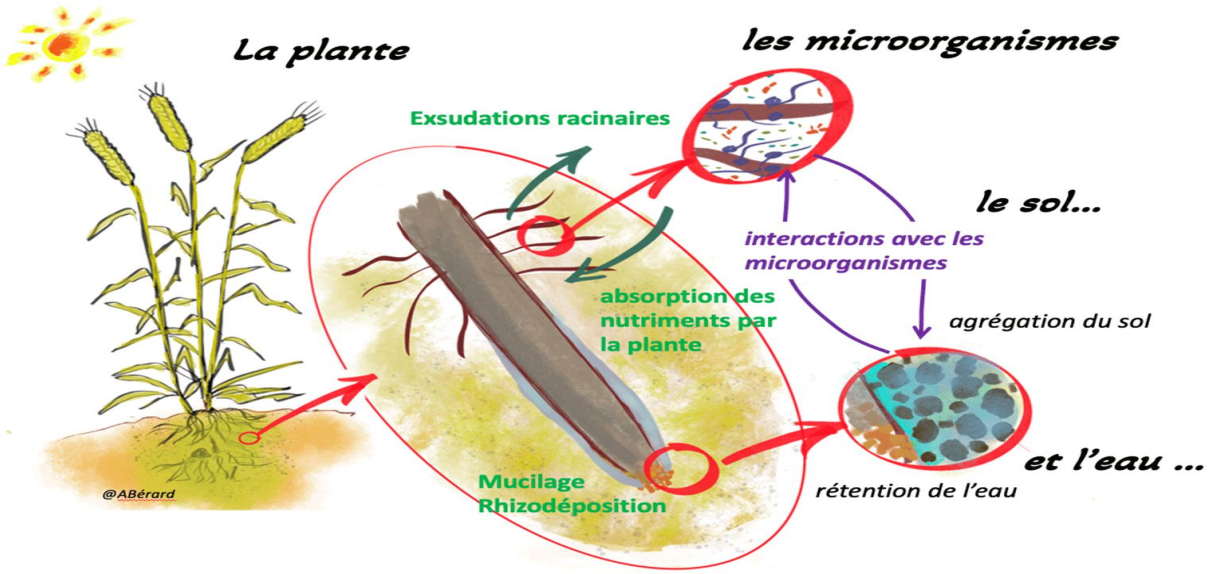

Figure 3 : L'effet rhizosphère du sol. (Bérard ,2018).

5.Effet de la rhizosphère sur la plante

Le sol est un milieu vivant composé de nombreux microorganismes, essentiellement hétérotrophes, c'est-à-dire qui ont besoin d'une source de carbone organique pour réaliser leur croissance. La libération de carbone organique dans la rhizosphère constitue une source importante de nutriments pour ces microorganismes. Cette interaction trophique est à la base de l'effet rhizosphère. (Clémentine L, 2013).

Les racines des plantes constituent un composant biologique majeur des systèmes souterrains et un agent principal de formation du sol. Les processus qui sont largement contrôlés ou directement influencés par les racines sont souvent appelés processus de la rhizosphère. Ces processus peuvent inclure l'exsudation, l'absorption d'eau, la mobilisation des nutriments, la décomposition de la matière organique du sol (MOS) associée à la rhizosphère et la respiration de la rhizosphère (Cheng, 2008).

6. Effet des PGPR sur la croissance végétale

Les effets bénéfiques des rhizobactéries sur la croissance végétale résultent de différents mécanismes exercés par les PGPR dont le mode d'action est direct ou indirect. Bien que

la différence entre les deux ne soit pas toujours évidente. Les mécanismes directs sont ceux agissant à l'intérieur des plantes et affectent directement leur métabolisme tandis que les mécanismes indirects, en général, sont ceux qui se produisent en dehors des plantes. Sur la base de leurs activités (Somers et *al*., 2004).

III-Les Rhizobactéries Promotrices de la Croissance des Plantes (PGPR) :

Kloepper et Schroth (1978) ont introduit le terme "Rhizobactéries" pour décrire la communauté bactérienne qui colonise compétitivement les racines des plantes et qui est capable d'améliorer le développement, la croissance et/ou la santé des végétaux (Vacheron et *al*., 2013 ; Moenne-Loccoz et *al*., 2019). Ces bactéries interagissent étroitement avec les plantes, entraînant des modifications physiologiques telles que des changements dans le transcriptome (Drogue et *al*., 2014), le protéome (Kwon et *al*., 2016) et le métabolome (Walker et *al*., 2011). Les PGPR présentes dans la rhizosphère peuvent avoir des effets bénéfiques sur les plantes, notamment en contrôlant les pathogènes et en induisant des changements dans les activités physiologiques, chimiques, métaboliques et moléculaires des plantes.

Les PGPR sont également très intéressantes pour une utilisation en agriculture. Elles peuvent être utilisées comme inoculants pour la biofertilisation (Combes-Meynet et *al*., 2011), comme biopesticides ou agents de bioremédiation (Kirdi, 2011).

1.Mode d'action des PGPR (Interactions PGPR/plante) :

1.1. Promotion de la croissance de l´hôte

Les PGPR peuvent favoriser la croissance des plantes hôtes par divers mécanismes tels que la fixation d'azote (N2) et la solubilisation d'oligoéléments tels que le phosphate (P) (Cakmakci et al., 2006; Orhan et *al*., 2006), l'inhibition de la synthèse d'éthylène par la plante, la synthèse des phytohormones ou des vitamines (Dobbelaere et *al*., 2003), et en diminuant la toxicité des métaux lourds (Burd et *al*., 1998; Whippes 2001).

a. Fixation d'azote

L'azote, essentiel à la croissance végétale, est majoritairement présent sous forme gazeuse (N_2) non assimilable par les plantes (Pujic et Normand, 2009). Les PGPR fixent biologiquement cet azote via l'enzyme nitrogénase, le convertissant en ammoniac assimilable (Weyens et *al*., 2010). Plusieurs genres bactériens fixateurs sont retrouvés dans la rhizosphère tels qu'Azotobacter, Bacillus et Pseudomonas (Tilak et *al*., 2005)

b. solubilisation des phosphates

Le phosphore est l'élément le plus limitant pour les plantes, qui ne peuvent absorber que ses formes solubles mono- et dibasiques (H2PO^ (-4), HPO4^ (-2)) (Ramos Solano et *al*., 2008; Keneni et *al*., 2010)., Certaines PGPR le rendent assimilable en produisant des acides organiques (Khan et *al*., 2009). Elles sécrètent aussi des enzymes comme les phosphatases qui minéralisent le phosphore organique (Kim et *al*., 1998 ; Weyens et *al*., 2010). Des bactéries comme Pseudomonas, Rhizobium et Bacillus sont particulièrement efficaces (Vessey, 2003).

c. Production des sidérophores

Le fer (Fe^{3+}), bien que présent en abondance dans les sols, est peu biodisponible en raison de sa faible solubilité (Compant et *al*., 2005). Pour améliorer son absorption, certaines bactéries bénéfiques du sol, notamment les PGPR (Plant Growth-Promoting Rhizobacteria), libèrent des sidérophores — des molécules de faible poids moléculaire ayant une forte affinité pour le fer et capables de chélater ce dernier pour le rendre assimilable par la plante via des récepteurs spécifiques au niveau des racines (Jacques et *al*., 1993).

Ces siderophores comme le pseudobactin produit par *Pseudomonas putida*, facilitent non seulement l'absorption du fer mais inhibent également la croissance de pathogènes fongiques par compétition pour le fer (De Weger, 1988 ; O'Sullivan et O'Gara, 1992 ; Weller et *al*., 1988). Ce mécanisme s'ajoute à celui des phytosidérophores naturellement produits par les plantes, renforçant ainsi leur nutrition et leur défense.

d. Production des régulateurs de la croissance végétale

Les PGPR produisent divers régulateurs de croissance végétale, tels que les auxines (notamment l'AIA), les cytokinines, les gibbérellines, l'éthylène et l'acide abscissique. L'AIA favorise particulièrement l'élongation des racines et la formation des poils absorbants (Zahir et *al*., 2004). Ces hormones microbiennes, comme l'AIA, influencent les voies hormonales des plantes, modulent leur développement et améliorent leur tolérance au stress (Spaepen et *al*., 2007). Des bactéries comme Azospirillum, Rhizobium, Pseudomonas, et Enterobacter sont connues pour leur capacité à produire ces phytohormones (Karnwal, 2009 ; Weyens et *al*., 2010). L'AIA agit aussi comme une molécule de signalisation dans les interactions plante-microorganisme (Spaepen et Vanderleyden, 2011).

1.2. Protection contre divers phytopathogènes

a. Compétition pour l'espace et les nutriments :

Les PGPR réduisent les maladies en colonisant rapidement les racines, limitant ainsi l'accès des pathogènes aux sites d'infection et aux ressources nutritives (Piano et *al.*, 1997 ; Kamilova et *al*., 2005). Leur efficacité dépend d'une forte densité dans la rhizosphère et de leur capacité à rivaliser pour le carbone et l'énergie (Haas et Defago, 2005). Cette compétition est favorisée par des traits comme la mobilité, le chimiotactisme, les LPS, la synthèse de vitamines et l'exploitation des exsudats racinaires (Lugtenberg et Kamilova, 2009).

b. Antibiose :

L'antibiose correspond à l'inhibition directe des pathogènes par la production de métabolites antimicrobiens. Les Pseudomonas spp. Produisent divers composés antifongiques tels que l'acide cyanhydrique (HCN), non toxique pour les plantes mais efficace contre les agents pathogènes (Zeller et *al*., 2007 ; Charest et al., 2005). Ils génèrent aussi le DAPG, la pyrrolnitrine,les phénazines, etc. (Defago, 1993 ; Haas et Defago,2005). Bacillus, Streptomyces et Stenotrophomonas synthétisent d'autres antibiotiques comme l'oligomycine A et la zwittermicine (Milner et *al*., 1996). Par ailleurs, certaines PGPR sécrètent des enzymes hydrolytiques dégradant les parois fongiques (Whippes, 2001).

c. Résistance systémique induite (ISR) :

La présence de certaines rhizobactéries peut déclencher chez la plante une réponse de défense généralisée appelée résistance systémique induite (ISR) (van Loon et *al*., 2005 ; Jourdan et *al.*, 2008). Ce mécanisme représente une stratégie prometteuse de biocontrôle contre les maladies des cultures (Ramos Solano et *al*., 2008). Différentes bactéries peuvent induire l'ISR, notamment *Bacillus pumilus* (Gram positif), des *Pseudomonas spp*. (Gram négatif) et des entérobactéries comme *Serratia et Pantoea* (Jourdan et *al*., 2008).

Matériel et méthode

Objectif :

L'objectif de notre travail est de déterminer l'effet des bactéries à effet PGPR sur la croissance de certaines céréales et la capacité de ces bactéries à protéger les céréales contre des phytopathogènes notamment le F*usarium* responsable de la fusariose.

Notre étude a été effectuée au niveau du laboratoire de département des Sciences de la Nature et de la Vie, faculté des sciences.

1.Matériel végétal :

Les céréales ont été apportées du siège des céréales Institut Technique des Grandes Céréales (ITGC) El-Kharoub, Constantine ;

- Deux variétés de blé tendre, **(ARZ ; Ain Abid)**
- Deux variétés de blé dur, (Djenneh **khetifa** ; **Oued Zenati**)
- Deux variétés d'orge **(Rihane03 ; Fouara)**
- Et une variété de triticale**. (Boutinal)**

1.1. Germination des graines :

Dans des conditions aseptiques, sur une paillasse désinfectée et au près d'un bec Bunsen, une quantité définie de graines a été placée dans des tubes à essai stériles. Celles-ci ont été désinfectées par immersion dans l'éthanol à 96 % (a) pendant une minute, puis dans de l'eau de Javel (5 % de NaClO) pendant trois minutes (b). Ensuite, les graines ont été soigneusement rincées six à sept fois avec de l'eau distillée stérile afin d'éliminer tout résidu de désinfectant (c), puis laissées en immersion dans la même eau pendant une heure.

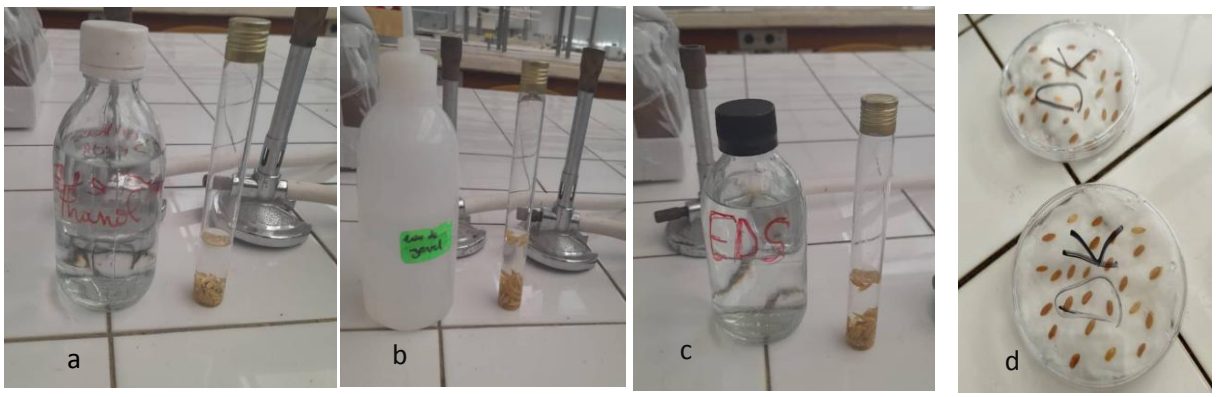

Figure 4 : Germination des graines dans des conditions aseptiques.

Après cette étape, les graines ont été transférées dans des boîtes de Pétri stériles contenant du coton imbibé d'eau distillée stérile (d). Chaque boîte a été étiquetée selon le type de graine qu'elle contenait. Les boîtes ont ensuite été placées dans un endroit propre, à l'obscurité jusqu'à l'apparition des racines avec une longueur 2 à 3 centimètre. Chaque quatre plantules ont été plantées dans des gobelets en plastiques préalablement désinfectées à l'éthanol remplis du sol agricole stérilise. Les gobelets ont été exposés à la lumière et irrigués régulièrement avec de l'eau de robinet.

2. Matériel bactériologique:

Dans cette étude expérimentale, dix (10) souches bactériennes distinctes ont été isolées à partir d'une rhizosphère afin d'apprécier l'effet de ces bactéries sur la croissance des différentes céréales cultivées en Algérie.

2.1. Repiquage des souches

Chaque souche a été initialement réactivée dans un tube contenant un bouillon nutritif (BN), servant de milieu de culture, les bactéries sont incubées à 37° C pendant 18h.

2.2. Conservation des souches bactériennes

Pour une conservation plus au moins longue des bactéries (3 à 6 mois), les souches sont cultivées dans un milieu solide ; la gélose nutritive (GN) incubées à 37°C pendant 2 à 3 jours jusqu'à l'obtention des boites plus au moins chargées. Les boites sont ensuite filmées est conservées à 4°C.

2.3. Inoculation des céréales

Lorsque les plantules obtenues atteintes une hauteur moyenne de 10 cm 15 cm, un inoculum de chaque bactérie est préparé. Puis chaque plante est inoculée séparément par ces bactéries dont 1 ml d'une suspension bactérienne pour chaque plante en présence du témoin non inoculé. Ce test est répété deux fois. Les plantes inoculées ont ensuite cultivé dans des conditions environnementales ambiantes.

3. Matériel fongique

Des phythopathogènes sont préalablement isolés et identifiés, fournis par le laboratoire de Biologie Moléculaire et Cellulaire servent pour assister au test d'antagonisme.

3.1. Repiquage du champignon:

Deux isolats fongiques ont été choisis pour ce test ; *Fusarium culmurum* (F1) et *Fusarium pseudograminearum (F7).* Le repiquage du champignon est réalisé dans un milieu de culture PDA (Potato Dextrose Agar) (Annex 1).

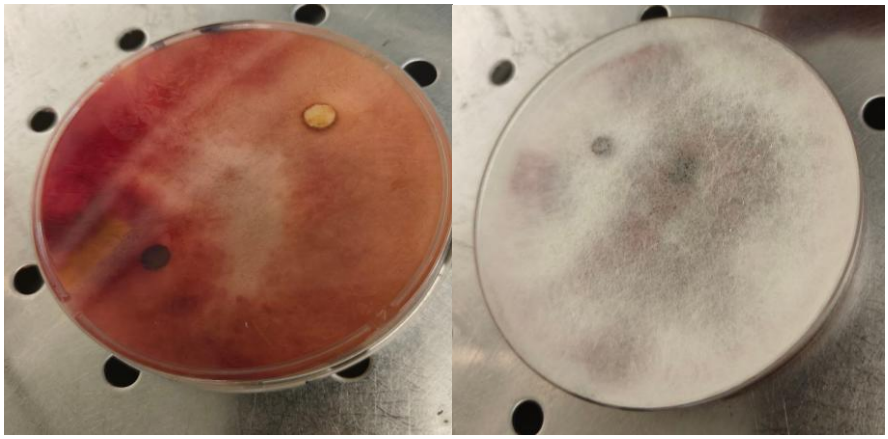

Figure 5 : Aspect macroscopique *Fusarium sp*

3.2. Inoculation du champignon :

Un test d'antagonisme *in vitro* est réalisé afin de tester l'existence d'une éventuelle action inhibitrice des isolats PGPR (R1 à R10) vis-à-vis de deux champignons pathogènes selon la méthode décrite par Vincent et al., (1991).

Sur une boîte de Pétri contenant le milieu PDA, un disque fongique est placé au milieu et des spots bactériens sont déposé au tour du disque fongique. Puis les boîtes ont été incubées à 37 °C pendant 5-7 jours. Les résultats ont été évalués par l'observation de zones d'inhibition de la croissance fongique autour des inoculas bactériens.

Les souches ayant montré le plus fort pouvoir antifongique ont été sélectionnées pour le traitement des plantules.

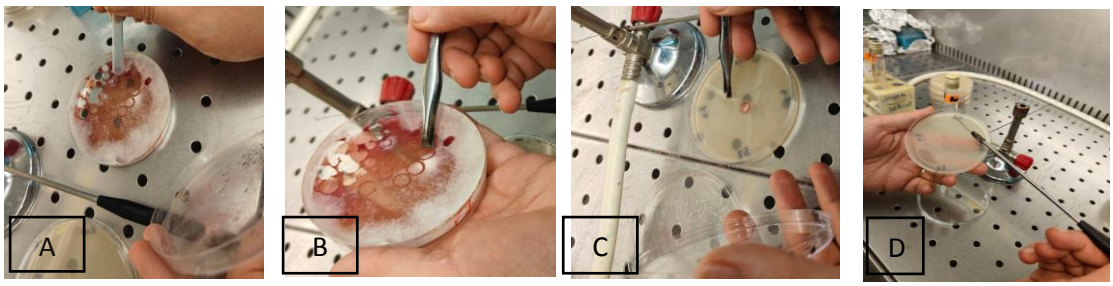

Figure 6: Test d'antagonisme

4. Effet de l'inoculation des bactéries sur la croissance des céréales et l'inhibition du phytopathogène

Les bactéries qui ont utilisées dans les essais d'antagonisme in vitro ont été retenues Une suspension fongique a été préparée à partir de deux isolats de *Fusarium sp ;* F1 et F7 dans le PDB (Potato Dextrose Bouillon) dans des flacons contenant 100 ml du milieu.

Après culture, toutes les céréales ont été pulvérisées y compris les témoins (des plantules inoculées uniquement avec le champignon). Les plants ont été placés dans des conditions ambiantes en présence de la lumière blanche.

Résultats et discussion

1. Effet des bactéries rhizosphériques sur la croissance des céréales

1.1. Variétés *ARZ*

Diagramme montrant l'effet des souches PGPR (R1–R10) sur la longueur des parties aériennes et racinaires du blé tendre *ARZ*, comparé au témoin (T).

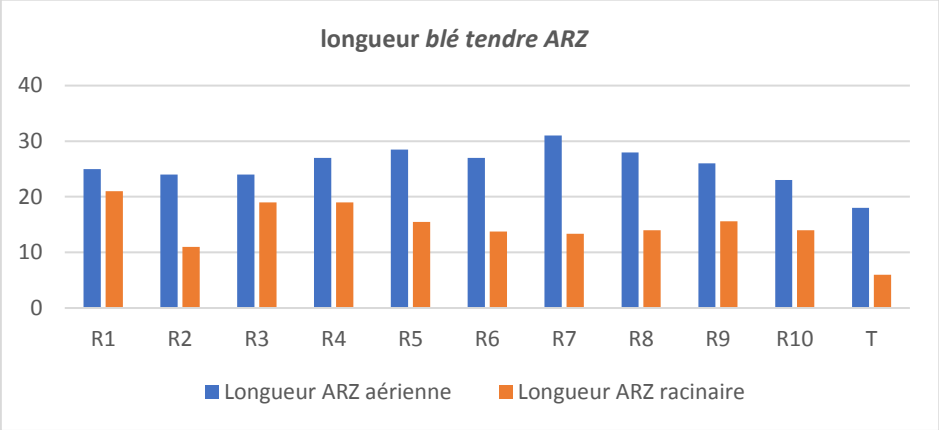

Figure 7: Diagrammes représentant la longueur des parties aériennes et racinaires de **ARZ**

Partie aérienne : Toutes les souches bactériennes ont stimulé la croissance aérienne par rapport au témoin, avec de bonnes performances enregistrées pour les souches R7, R8 et R5.

Partie racinaire : Une amélioration des longueurs racinaires est également observée pour l'ensemble des souches comparées au témoin, avec de bons résultats notamment pour R1, R4 et R3.

1.2. Variétés *OZ*

Diagramme montrant l'effet des souches PGPR (R1–R10) sur la longueur des parties aériennes et racinaires du blé dur *OZ* comparé au témoin (T).

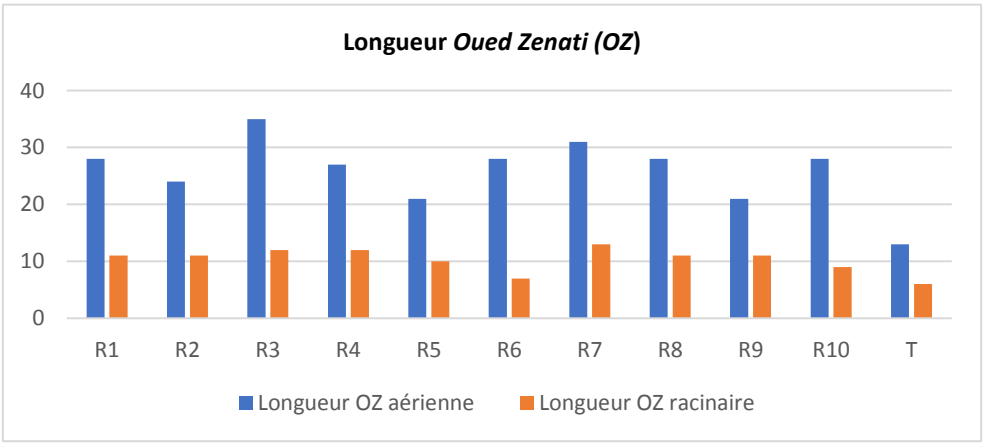

Figure 8 : Diagrammes représentant la longueur des parties aériennes et racinaires de OZ

Partie aérienne : Toutes les souches bactériennes ont permis une augmentation significative de la longueur de la partie aérienne par rapport au témoin, avec de bonnes performances observées pour les souches R8, R10 et R9.

Partie racinaire: Une stimulation racinaire est notée chez l'ensemble des souches en comparaison au témoin, avec les meilleures valeurs enregistrées par les souches testées.

1.3. Variétés *DK*

Diagramme montrant l'effet des souches PGPR (R1–R10) sur la longueur des parties aériennes et racinaires du blé dur *DK* comparé au témoin (T).

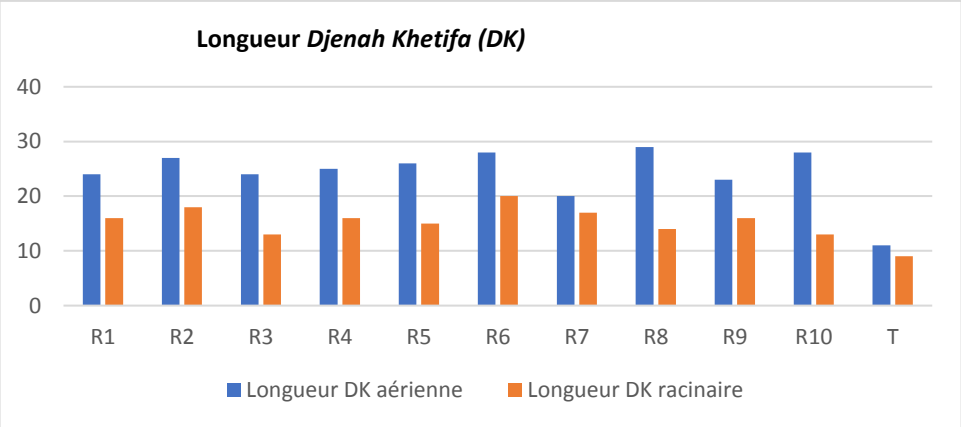

Figure 9: Diagrammes représentant la longueur des parties aériennes et racinaires de *DK*

Partie aérienne : Toutes les souches bactériennes ont permis une augmentation significative de la longueur de la partie aérienne par rapport au témoin, avec de bonnes performances observées pour les souches R8, R10 et R6.

Partie racinaire: Une stimulation racinaire est notée chez l'ensemble des souches en comparaison au témoin, avec les meilleures valeurs enregistrées pour les souches R6, R7 et R2.

1.4. Variétés *AA*

Diagramme montrant l'effet des souches PGPR (R1–R10) sur la longueur des parties aériennes et racinaires du blé tendre *AA* comparé au témoin (T).

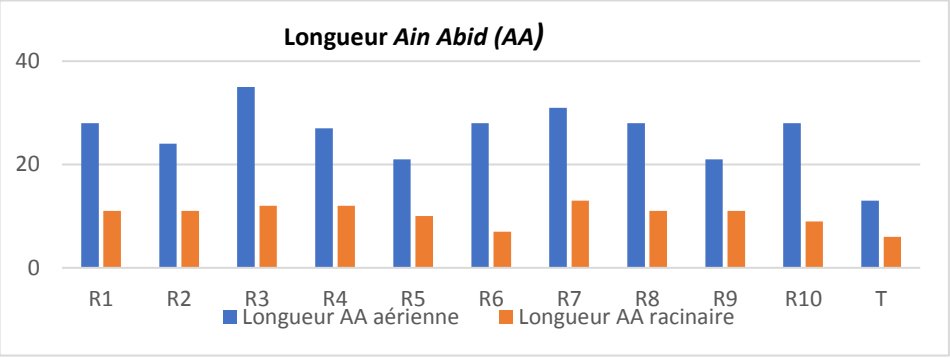

Figure 10: Diagrammes représentant la longueur des parties aériennes et racinaires de ***AA***

Partie aérienne : Toutes les souches bactériennes ont entraîné une amélioration de la longueur de la partie aérienne par rapport au témoin, avec des performances particulièrement élevées pour les souches R3, R1 et R7.

Partie racinaire: Une légère stimulation racinaire est observée chez la majorité des souches en comparaison au témoin, avec les longueurs les plus élevées enregistrées pour les souches R3, R2 et R1.

1.5. Variétés *OR R*

Diagramme montrant l'effet des souches PGPR (R1–R10) sur la longueur des parties aériennes et racinaires d'*Orge (OR R)* comparé au témoin (T).

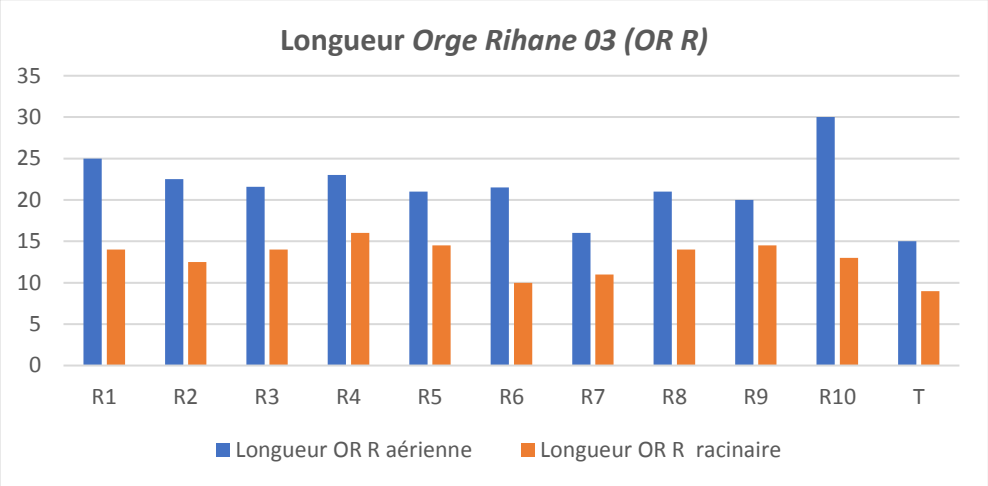

Figure 11: Diagrammes représentant la longueur des parties aériennes et racinaires d'***OR R***

Partie aérienne: La majorité des souches bactériennes ont entraîné une amélioration de la longueur de la partie aérienne par rapport au témoin, avec des valeurs élevées observées chez les souches R10, R1 et R4.

Partie racinaire: La croissance racinaire a été globalement meilleure que celle du témoin pour plusieurs souches, notamment R4, R5 et R9, indiquant un effet bénéfique sur le développement racinaire.

1.6. Variétés *OR F*

Diagramme montrant l'effet des souches PGPR (R1–R10) sur la longueur des parties aériennes et racinaires d'*Orge F* comparé au témoin (T).

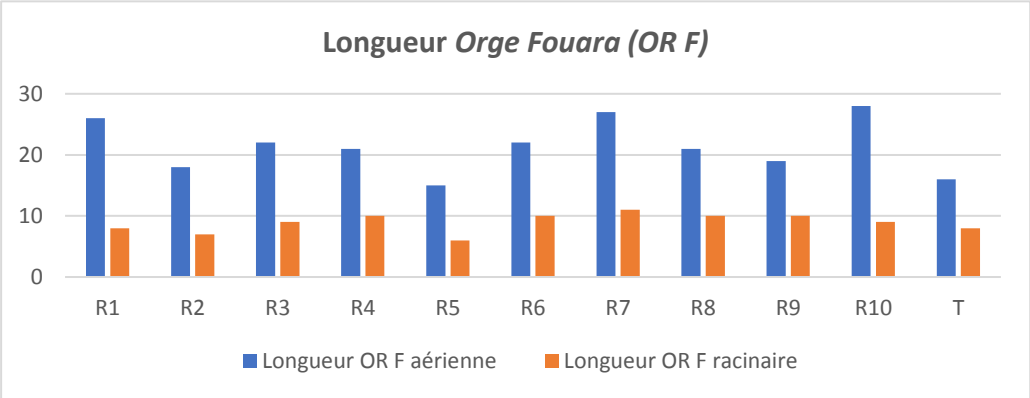

Figure 12: Diagrammes représentant la longueur des parties aériennes et racinaires ***d'OR F***

Partie aérienne: Presque toutes les souches bactériennes ont amélioré la longueur des parties aériennes par rapport au témoin, avec des résultats remarquables observés pour les souches R10, R7 et R1.

Partie racinaire: Une légère stimulation racinaire est notée avec plusieurs souches, notamment R7, R9 et R3, qui présentent les longueurs les plus élevées en comparaison au témoin.

1.7. Variétés *TB*

Diagramme montrant l'effet des souches PGPR (R1–R10) sur la longueur des parties aériennes et racinaires de triticale *TB* comparé au témoin (T).

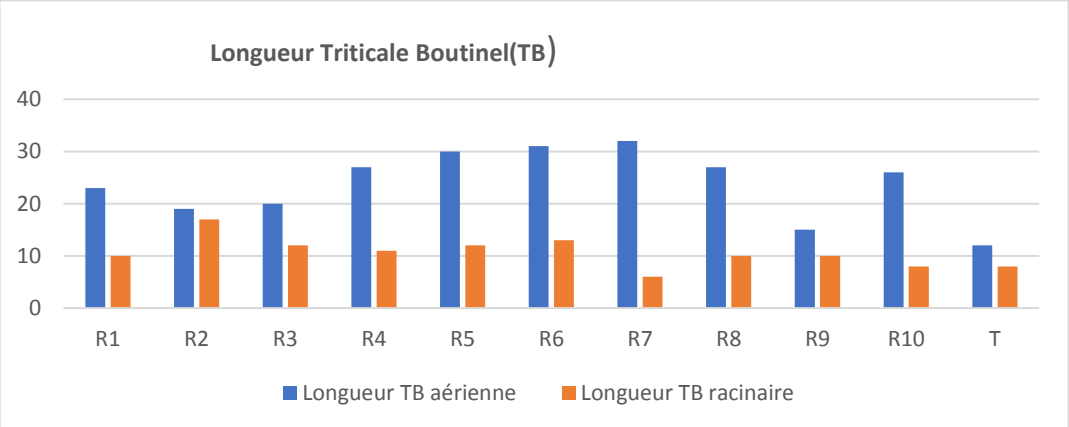

Figure 13: Diagrammes représentant la longueur des parties aériennes et racinaires de ***TB***

Partie aérienne: Toutes les souches bactériennes ont entraîné une amélioration significative de la longueur des parties aériennes par rapport au témoin. Les meilleures longueurs ont été enregistrées pour les souches R7, R6 et R5, atteignant jusqu'à 32 cm.

Partie racinaire : La croissance racinaire a été également stimulée, notamment avec les souches R2, R5 et R6, qui ont montré les longueurs les plus élevées, alors que le témoin a présenté les valeurs les plus faibles.

Les résultats obtenus montrent que l'inoculation des céréales avec différentes souches de PGPR a globalement stimulé la croissance des parties aériennes et racinaires par rapport au témoin. Certaines souches, notamment R6, R7, R3 et R1, ont exercé un effet particulièrement favorable sur la croissance végétative, en induisant des longueurs significativement supérieures. Ces performances confirment le potentiel biostimulant de ces bactéries dans l'amélioration de la croissance des céréales étudiées. Ces observations sont en accord avec celles rapportées par Massaoud et Rihane (2024), qui ont également mis en évidence une stimulation marquée de la croissance du blé suite à une inoculation par des PGPR.

2. Effet des bactéries sur le poids des parties aériennes et racinaires des plantes

2.1 Effet sur la variété *ARZ*

Diagramme illustrant les effets des différentes souches bactériennes (R1 à R10) sur le poids frais et sec des parties aériennes et racinaires du blé tendre (ARZ), comparés au témoin (T).

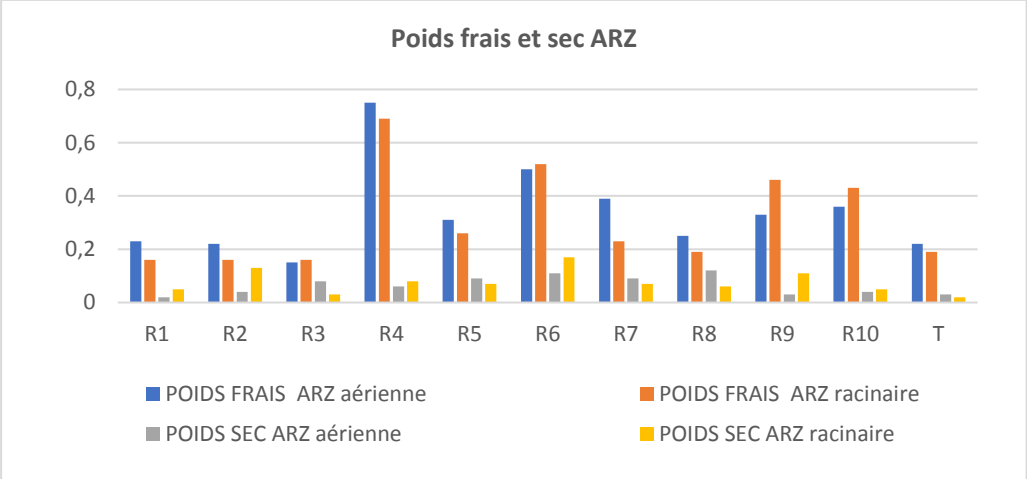

Figure 14: Diagrammes représentant le poids des parties aériennes et de blé tendre ***ARZ***,

Pour la variété ***ARZ***, l'isolat R4 se distingue par les valeurs les plus élevées en poids frais et sec de la partie aérienne, indiquant une stimulation significative de la croissance. Les isolats R6 et R8 montrent également une amélioration notable par rapport au témoin, bien que dans une moindre mesure.

Les isolats R6, R8 et R9 ont permis une amélioration notable du poids racinaire, tant frais que sec, traduisant une meilleure croissance souterraine. Le témoin (T), quant à lui, affiche des valeurs nettement inférieures à l'ensemble des isolats testés.

2.2 Effet sur la variété *OZ*

Diagramme illustrant les effets des différentes souches bactériennes (R1 à R10) sur le poids frais et sec des parties aériennes et racinaires du blé dur OZ comparés au témoin (T).

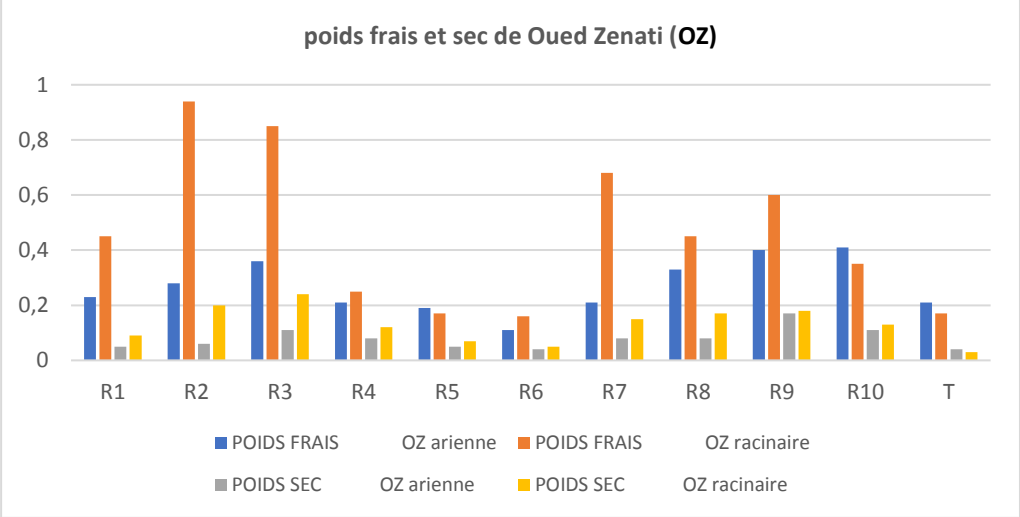

Figure15 : Diagrammes représentant le poids des parties aériennes et racinaires de la céréale ; ***OZ***

Concernant le **poids frais racinaire**, les isolats **R2** et **R3** se distinguent nettement avec les valeurs les plus élevées, traduisant une croissance racinaire particulièrement vigoureuse. Les isolats **R6** et **R9** présentent également une amélioration intéressante par rapport au témoin. Ce dernier (**T**) affiche, une fois de plus, des résultats très faibles.
En ce qui concerne le **poids sec racinaire,** les isolats **R2** et **R3** confirment leur supériorité, suivis par **R9**, qui montre également un effet positif. Le témoin (**T**) enregistre les performances les plus basses, soulignant le rôle déterminant des isolats dans la stimulation de la biomasse racinaire.

2.3. Effet sur la variété *AA* :

Diagramme illustrant l'effet des souches PGPR (R1 à R10) sur le poids frais et sec des parties aériennes et racinaires du blé Ain Abid (AA), en comparaison avec le témoin (T).

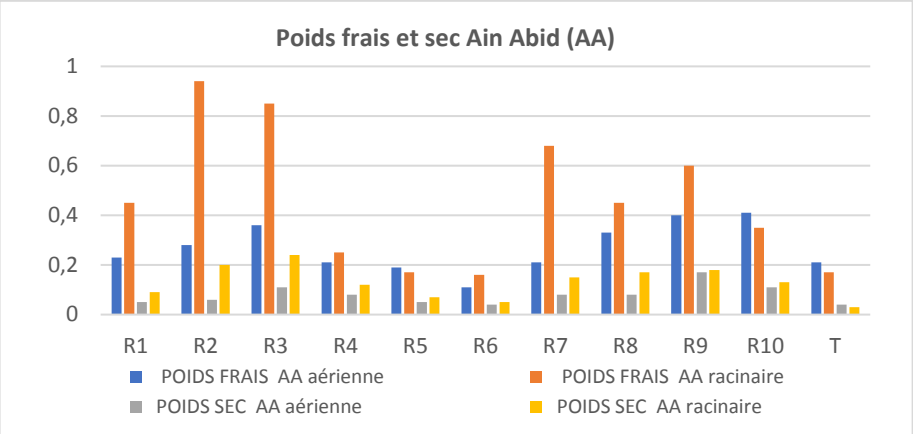

Figure16 : Diagrammes représentant le poids des parties aériennes et racinaires de la céréale ***AA***

Les isolats R2, R7 et R8 ont significativement amélioré le poids frais et sec des parties aériennes par rapport au témoin. L'isolat R2 a montré les valeurs les plus élevées, traduisant une forte capacité à stimuler la production de biomasse. R3 et R9 présentent également une amélioration notable. Le témoin (T), quant à lui, affiche des valeurs faibles, confirmant l'effet bénéfique des souches testées.

Une forte stimulation du poids frais et sec des racines est observée avec les isolats R2, R7 et R9, où R2 se distingue nettement par les valeurs les plus élevées, Les autres souches montrent un effet variable, tandis que le témoin enregistre les plus faibles valeurs. Ces résultats confirment l'efficacité des PGPR dans le renforcement de la biomasse racinaire.

2.4. Effet sur la variété *DK* :

Diagramme illustrant l'effet des souches PGPR (R1 à R10) sur le poids frais et sec des parties aériennes et racinaires du blé dur *DK*, en comparaison avec le témoin (T).

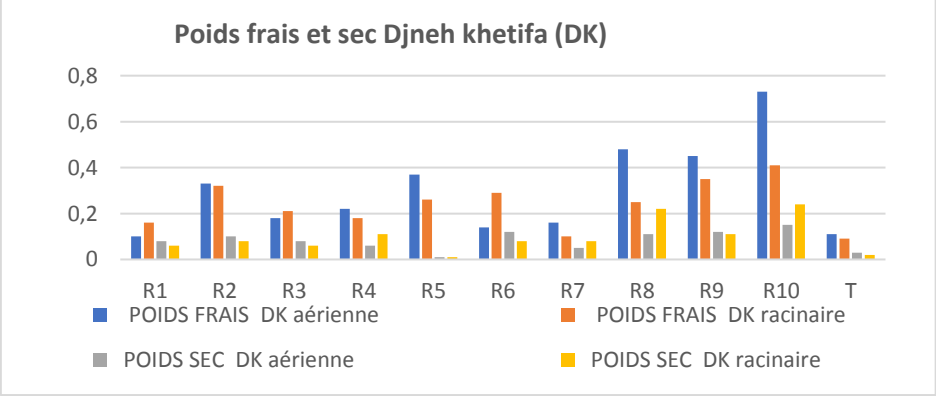

Figure17 : Diagrammes représentant le poids des parties aériennes et racinaires de la céréale ; ***DK***

Les isolats R10, R9 et R6 ont nettement stimulé le poids frais et sec des parties aériennes de la variété DK. R10 se distingue particulièrement avec le poids frais le plus élevé, suivi de R9, confirmant leur fort potentiel biostimulant. Les autres souches montrent des effets modérés, tandis que le témoin (T) reste à un niveau très faible.

Le développement racinaire, en poids frais et sec, a été significativement amélioré par les isolats R9, R10 et R6. Ces derniers ont affiché des valeurs supérieures au témoin, traduisant une meilleure croissance racinaire sous l'effet des PGPR. Le témoin a enregistré les plus faibles valeurs, ce qui met en évidence l'efficacité des souches testées.

2.5. Effet sur la variété *OR R* :

Diagramme illustrant l'effet des souches PGPR (R1 à R10) sur le poids frais et sec des parties aériennes et racinaires d'Orge *R* en comparaison avec le témoin (T).

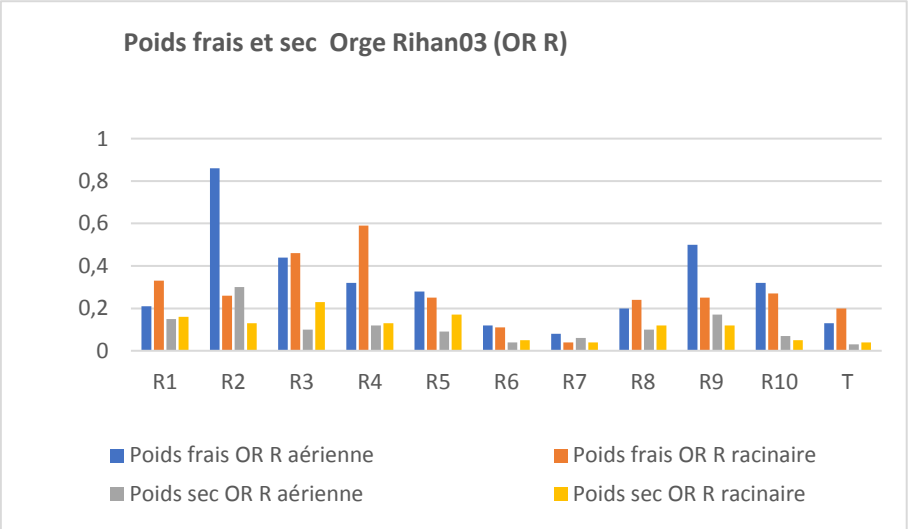

Figure18 : Diagrammes représentant le poids des parties aériennes et racinaires de la céréale ; ***OR R***

Concernant **le poids frais** de la partie aérienne, plusieurs souches ont montré une nette amélioration. La souche R2 se distingue par les meilleurs résultats, suivie par R9, R3 et R4. Ces performances sont largement supérieures à celle du témoin, indiquant une augmentation marquée de la biomasse végétative fraîche au-dessus du sol.

Pour le poids frais racinaire, la souche R4 se démarque également, suivie de R3, R1 et R9. Là encore, ces résultats sont nettement supérieurs à ceux du témoin, traduisant une stimulation du développement racinaire.

Poids sec : Les tendances observées dans le poids frais sont confirmées par les mesures du poids sec, qui reflètent la biomasse réellement accumulée. Pour la partie aérienne, R2 présente les meilleurs résultats, suivie par R9 et R1, contrastant fortement avec le témoin. En ce qui concerne le poids sec racinaire, les meilleures performances sont enregistrées chez R3, suivie de R5, R1 et R4, tandis que le témoin reste le moins performant.

2.6. Effet sur la variété *OR F* :

Diagramme illustrant l'effet des souches PGPR (R1 à R10) sur le poids frais et sec des parties aériennes et racinaires d'Orge *F* en comparaison avec le témoin (T).

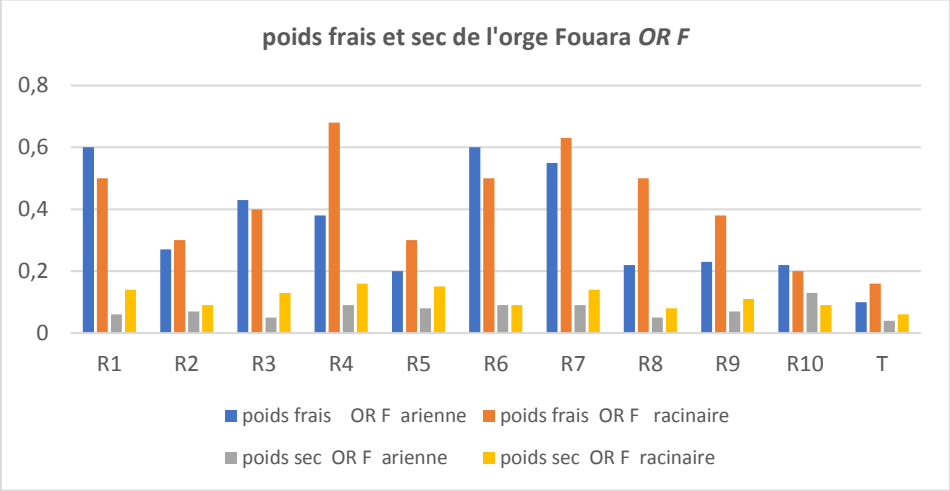

Figure19 : Diagrammes représentant le poids des parties aériennes et racinaires de la céréale ; ***OR F***

Concernant le **poids frais**, plusieurs souches, notamment R4, R6, R1 et R7, ont fortement stimulé la biomasse des parties aériennes et racinaires d'OR F par rapport au témoin. R4 a donné les meilleurs résultats au niveau racinaire, tandis que R6 a montré un effet équilibré sur l'ensemble de la plante. À l'opposé, les isolats R8 à R10 ont induit des réponses faibles, similaires à celles du témoin.

En ce qui concerne le **poids sec**, les tendances observées confirment celles du poids frais. Les souches R6 et R4 maintiennent des performances élevées, aussi bien pour les parties aériennes que racinaires. R2, R5 et R8 montrent des résultats intermédiaires, alors que le témoin reste le moins performant. Ces données mettent en évidence l'efficacité des PGPR, notamment R4, R6 et R7, dans la stimulation de la croissance de l'orge.

2.7. Effet sur la variété *TB* :

Diagramme illustrant l'effet des souches PGPR (R1 à R10) sur le poids frais et sec des parties aériennes et racinaires d'Orge *F* en comparaison avec le témoin (T).

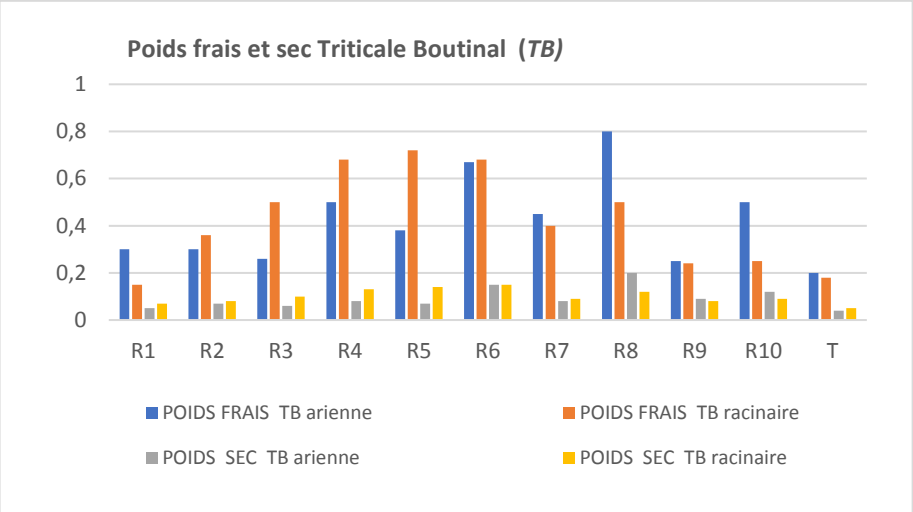

Figure 20: Diagrammes représentant le poids des parties aériennes et racinaires de ***TB***.

En ce qui concerne le Triticale (TB), les isolats R5, R6 et R7 exercent un effet particulièrement stimulant sur la croissance aérienne, tant en poids frais qu'en poids sec. Dans les deux cas, le témoin (T) présente les performances les plus faibles, soulignant l'impact positif des isolats testés sur le développement des plantes.

Les isolats R5, R6, R7 et R9 ont induit une croissance racinaire marquée, confirmant leur effet bénéfique sur le développement des racines. Là encore, le témoin (T) enregistre les performances les plus faibles, soulignant l'efficacité des isolats dans la stimulation de la croissance racinaire.

En conclusion, les isolats à effet PGPR testés ont significativement amélioré la croissance des différentes céréales étudiées, aussi bien au niveau des parties aériennes que racinaires, en comparaison avec les témoins. Les isolats R10, R9, R6, R4, R2 et R5 se sont révélés les plus efficaces, avec des effets variables selon les variétés. Le témoin (T) est resté systématiquement le moins performant, ce qui confirme l'efficacité des PGPR en tant que stimulateurs naturels de la croissance végétale.

Ces résultats contrastent avec ceux rapportés par une étude antérieure (Benlabiod, L.Z. et Belhadef, C.H., 2022), qui n'avait pas mis en évidence d'effet significatif sur la croissance en longueur du blé dur. Bien que cette étude ait été réalisée dans de bonnes conditions expérimentales, ses conclusions diffèrent de celles obtenues dans le présent travail.

3. Effet d'antagonisme des bactéries vis-à-vis des deux phytopathogène du genre *Fusarium*

3.1. Effet d'antagonisme des isolats vis ç vis du *Fusarium pseudograminiarum*

Le phytopathogène F7 se distingue par une croissance rapide, un mycélium dense et une pigmentation brun-rouge prononcée au centre de la colonie. Les résultats montrent une forte inhibition de sa croissance en présence des isolats R3, R4, R7 et R2, tandis que les isolats R9 et R10 exercent une inhibition plus faible. En revanche, aucun effet inhibiteur n'a été observé avec R1 et R8. Ce profil d'interaction met en évidence une sensibilité accrue de F7 à certaines souches, notamment R2 et R4, en comparaison avec l'isolat Fg, suggérant ainsi une sensibilité fongique spécifique à certaines bactéries antagonistes.

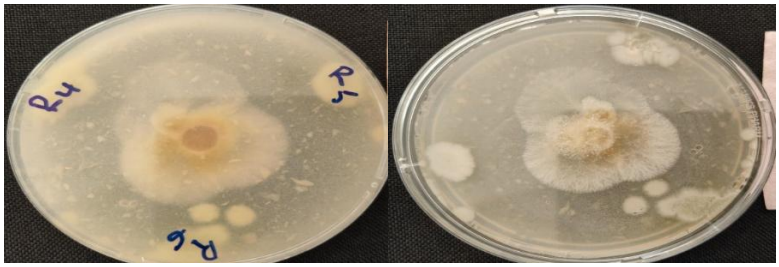

Figure 21 : Test d'antagonisme F7

3.2. Effet d'antagonisme des isolats vis ç vis du *Fusarium culmorum*

Le champignon F1 présente un développement mycélien de type concentrique, accompagné d'une pigmentation brune centrale caractéristique. L'évaluation des interactions bactériennes révèle une forte inhibition de sa croissance par les isolats R3, R6 et R7. Les isolats R2 et R10 induisent une inhibition modérée, tandis qu'aucun effet inhibiteur n'a été observé avec R1, R4 et R9. Il convient de souligner que les isolats R3, R6 et R7 manifestent une activité antifongique constante à l'encontre des trois champignons testés, confirmant leur potentiel antagoniste.

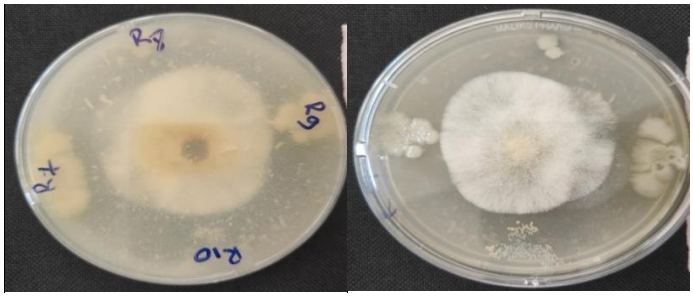

Figure 22 : Test d'antagonisme F1

4. Effet des bactéries sur la croissance des céréales en présence du phytopathogène

Les bactéries R8, R9, R10 et R4 ont démontré une capacité d'inhibition efficace à l'égard du phytopathogène *Fusarium sp*., contribuant ainsi à la protection des céréales et à une croissance saine et significative des plantes**.**

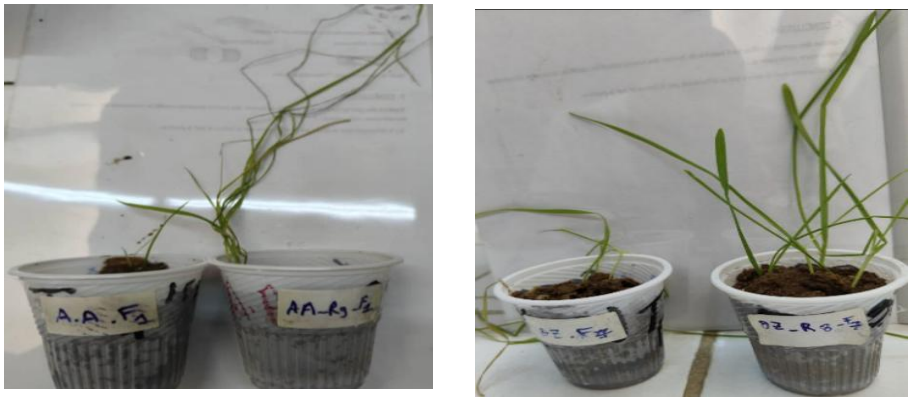

Figure23 : Effet des bactéries rhizosphériques sur la croissance des céréales en présence du phytopathogéne .

Cet effet bénéfique a été observé chez l'ensemble des variétés céréalières étudiées, en présence des deux phytopathogènes testés, à l'exception de la variété ***DK***, qui a présenté un résultat négatif en interaction avec le phytopathogène *Fusarium culmurum* (F1). Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par Sebihi F. (2016), confirmant le potentiel des isolats bactériens comme agents de biocontrôle contre *Fusarium spp*.

Conclusion

Conclusion :

An ce travail, nous avons étudié quatre espèces céréalières majeures en Algérie : le blé dur, le blé tendre, l'orge et le triticale. Ces cultures occupent une place essentielle dans le système agricole national, aussi bien pour l'alimentation humaine que pour la sécurité alimentaire. Leur amélioration constitue donc un enjeu prioritaire.

Ce travail a permis de mettre en évidence l'importance des bactéries rhizosphériques promotrices de croissance (PGPR) dans l'amélioration du développement des céréales.

L'analyse des différents paramètres de croissance (biomasse, longueur des parties aériennes et racinaires) a montré que plusieurs isolats testés exercent un effet bénéfique significatif sur les plantes étudiées (blé tendre, blé dur, orge, triticale).

Par ailleurs, l'évaluation de l'activité antifongique de ces souches a révélé un potentiel de biocontrôle contre les phytopathogènes du genre *Fusarium*, responsables de la fusariose, maladie grave des cultures céréalières.

L'inoculation avec ces PGPR a permis de limiter les effets pathogènes du champignon et d'assurer une croissance saine des plantules.

Ces résultats confirment l'intérêt croissant des PGPR en tant qu'alternatives durables aux intrants chimiques, tant pour la biofertilisation que pour la lutte biologique. Leur application en agriculture pourrait contribuer à une meilleure productivité des céréales tout en respectant les principes de l'agriculture durable.

Les références

Références :

Akar, T. M. Avci, M. et Dusunceli, F. (2004) : Barley post-harvest operations. Disponible sur : http://www.fao.org/inpho/content/compend/text/ch31/ch31.m (consulté le 5 mai 2012).

Ameur, H. (2014) : Effet d'osmoprotecteurs naturels sur la restauration de croissance de Streptomyces et de plantes d'intérêt agricole sur sol salé ou aride. Thèse de doctorat, Microbiologie, Université Ferhat Abbas Sétif, 120 p.

Antoun.(2005) : Effects of the humic substances of de-inking paper sludge on the antagonism between two compost bacteria and Pythium ultimum. FEMS Microbiol. Ecol., 52: 219–227.

Barea, J.M. Azcón, R. Azcón-Aguilar, C. (2005) : Interactions between mycorrhizal fungi and bacteria to improve plant nutrient cycling and soil structure. In : Buscot, F. & Varma, A. (Eds.), Microorganisms in Soils: Roles in Genesis and Functions. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg.

Bazot, S. (2005) : Contribution à l'étude de l'allocation des photoassimilats récents dans la plante et la rhizosphère chez une graminée pérenne. Unité Mixte de Recherche INRA-INPL Agronomie Environnement, Nancy-Colmar, 176 p., pp. 25–26.

Belaïd, F. (1986): *L'agriculture en Algérie : contraintes et perspectives*. Alger : Office des Publications Universitaires (OPU).

Benabdallah,M.(2016) : Les caractères et les effets d'une fertilisation biologique par le grognon d'Olivier sur un rendement des céréales. Mémoire de fin d'études en agronomie, université Abou Baker Belkaid .101p.

Benlabiod, L. Z. Belhadef, C. H. (2022) : Effet de l'inoculation de trois souches de Rhizobium leguminosarum (SL16, OL6 et SP4) sur la réponse physiologique du blé dur. Mémoire de Master, spécialité Biotechnologie et Génomique Végétale, Université Frères Mentouri Constantine 1, Algérie. Encadré par Kechid M.

Bérard, A., Doussan, C. Guix, N. Le Gouis, J. (2018) : RhyzoPhyMic : Les interactions physiques et biologiques dans la rhizosphère : un rôle à jouer dans la régulation de stockage et

fourniture d'eau du sol ? Application à la tolérance aux sécheresses de la microflore et des plantes. Rapport/Bilan pour le métaprogramme EcoServ.

Bessaoud,O . (1999) : L'Algérie agricole : de la construction du territoire à l'impossible émergence de la paysannerie. INSANIYET – Revue du Centre de Recherche en Anthropologie Sociale et Culturelle, n°7, janvier-avril 1999, Oran, Algérie, 30 p.

Bettou, M. Righi, M. (2018) : Contribution à la lutte chimique et biologique contre l'agent causal de la tache septorienne du blé « Zymoseptoria tritici » in vitro. Mémoire de Master en Microbiologie, Université des Frères Mentouri Constantine 1, 66 p.

Burd, G.I. Dixon, D.G. Glick, B.R. (1998): A plant growth-promoting bacterium that decreases nickel toxicity in seedlings. Applied and Environmental Microbiology, 64(10), 3663–3668.

Cakmakci, R.Donmez, F. Aydin, A.Sahin, F. (2006): Growth promotion of plants by plant growth-promoting rhizobacteria under greenhouse and two different field soil conditions. Soil Biology and Biochemistry, 38(6), 1482–1487.

Cedeño, I., López, M., Pérez, J. & Vargas, R. (2021): Environmental impact of excessive use of fertilizers and pesticides on agricultural soils. *Environmental Pollution Journal, 287, 117543.*

Chadefaud, M. Emberger, L. (1960) : Traité de botanique – Systématique : les végétaux vasculaires. Fascicule, Masson & Cie, Tome II, 753 p.

Charest, M.H., C.J. Beauchamp et H. Antoun. (2005): Effects of the humic substances of de-inking paper sludge on the antagonism between two compost bacteria and Pythium ultimum.FEMS Microbiol. Ecol., 52: 219–227.

Chehat, A. (2007): Contribution à l'étude de la culture du blé dur en milieu semi-aride. Mémoire de fin d'études, Université des Sciences Agronomiques.

Cheng, Z. (2008): Interactions between plant growth-promoting rhizobacteria and their host plants. Dissertation, Department of Biological Sciences, University of Calgary, Canada.

Combes-Meynet, E. Pothier, J.F.Moënne-Loccoz, Y. Prigent-Combaret, C. (2011): The Pseudomonas secondary metabolite 2, 4-diacetylphloroglucinol is a signal inducing rhizoplane

expression of Azospirillum genes involved in plant-growth promotion. Molecular Plant–Microbe Interactions, 24(2), 271–284.

Compant, S., Duffy, B., Nowak, J. Clément, C. Barka, E.-A. **(2005) :** Use of plant growth-promoting bacteria for biocontrol of plant diseases: principles, mechanisms of action, and future prospects. Applied and Environmental Microbiology, 71(9), 4951–4959.

David, H. McNear, J.R. (2013): The rhizosphere – roots, soil and everything in between. Nature Education Knowledge, 4(3), 1.

De Carne, C.Ch. (2010) : Agriculture biologique, une approche scientifique. Éditions France Agricole, Productions végétales et grandes cultures, 434 p. ISBN : 978-2-85557-211-6.

De Salamone, I. E.Seldes, A. M. Wicz, S. C. Poli, A. (2005): Antibiotic and antifungal activities of siderophores produced by biocontrol rhizobacteria. World Journal of Microbiology & Biotechnology, 21(5), 697–701.

De Weger, L. A. van Arendonk,J. J. C. M. Recourt, K.van der Hofstad, G. A. J. M. Weisbeek, P. J.Lugtenburg, B.(1988) : Sierophore mediated uptake Fe 3+ by the plant growth- stimulating Pseudomonas putida strain WCS358 and by other rhizosphere microorganisms.J.Bacteriol. 170:4693-4698.

Defago, G. (1993): 2,4-Diacetylphloroglucinol, a promising compound in biocontrol. Plant Pathol. 42: 311–312.

Derdj, D. (2017) : Effet des actinomycètes sur l'agent phytopathogène (Fusarium ssp.) chez le blé dur (Triticum durum Desf.). Mémoire de Master en Biotechnologies végétales et métagénomique, Université Mohamed Boudiaf, M'sila, 86 p.

Djigal, D. (2003) : Interactions entre la communauté microbienne du sol (bactéries et champignons mycorhiziens) et les nématodes bactérivores : effet sur la nutrition minérale et la croissance de différentes plantes. Thèse de doctorat, 3e cycle, Biologie Végétale, 166 p.

Dobbelaere, S. Vanderleyden, J. Okon, Y. (2003): Plant Growth-Promoting Effects of Diazotrophs in the Rhizosphere. Critical Reviews in Plant Sciences, 22(2), 107–149.

Drogue, B. Sanguin, H. Chamam, A. Mozar, M.Llauro, C. Panaud, O. Wisniewski-Dyé, F.(2014): Plant root transcriptome profiling reveals a straindependent response during Azospirillum-rice

FAO. (2016): Cereal Supply and Demand Brief – October 2016. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org

Feillet, P. (2000) : Le grain de blé, composition et utilisation. INRA Éditions, 24 p.

Fredot, E. (2012) : Connaissance des aliments : bases alimentaires et nutritionnelles de la diététique. 3e édition, Lavoisier, Tec & Doc, Paris, 613 p.

Geigy, C. Nathan, A. (1985): Maladies des céréales et du maïs. Éd. Agri-Nathan, France, 96 p.

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

Haas, D. Défago, G. (2005) : Biological control of soil-borne pathogens by fluorescent pseudomonads. Nat. Rev. Microbiol. 3: 307–319.

Hirsch, A.M. Bauer, W.D. Bird, D.M. Cullimore, J. Tyler, B. Yoder, J.I. (2003) : [Référence incomplète – veuillez préciser le titre de l'article ou de la source].

INPV (2015) : Fiche technique sur les maladies fongiques des céréales. Institut National de la Protection des Végétaux, Algérie. *(Document officiel national)*

ITGC (2019) : Les principales variétés de céréales cultivées en Algérie. Institut Technique des Grandes Cultures, fiche technique, Constantine, 50 p.

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

Jean-Pierre, B. & Ruth, S. (2018) : Blé dur et tendre, pp. 62–65. Dans : Blés de pays et autres céréales à paille. Éd. Ulmer, 24 rue Mogador, Paris, 248 p.

Jourdan, E. Ongena, M. Thonart, P. (2008) : Caractéristiques moléculaires de l'immunité des plantes induite par les rhizobactéries non pathogènes. Biotechnol. Agron. Soc. Environ., 12, 437–449.

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

Karnwal, A. (2009): Production of indole acetic acid by fluorescent Pseudomonas in the presence of L-Tryptophan and rice root exudates. J. Plant Pathol. 91: 61-63

Keneni, A. F. Assefa, P.C. Prabu. (2010): Isolation of phosphate solubilizing bacteria from the rhizosphere of faba bean of Ethiopia and their abilities on solubilization insoluble phosphates J. Agr. Sci. Tech. 12: 79-89.

Khan, A. A. G. Jilani, M.S. Akhtar, S. M. S. Naqvi, M. Rasheed.(2009): Phosphorus Solubilizing Bacteria: Occurrence, Mechanisms and their role in crop production. J. agric. biol. sci. 11: 48-58.

Kim, K.Y. D. Jordan, G. A. McDonald. (1998): Effect of phosphate-solubilizing bacteria and vesicular arbuscular mycorrhizae on tomato growth and soil microbial activity. Biol. Fertil Soils. 26: 79-87.

Kirdi, B. (2011) : Rôle des PGPR « Plant Growth Promoting Rhizobacteria» dans la croissance végétale et la lutte contre les phanérogames parasites (Doctoral dissertation).

Kloepper, J.W. Leong, J. Teintze, M. Schroth.M.N. (1980) : Pseudomonas siderophores:a mechanism explaining disease suppressive soils. Curr. Microbiol. 4: 317–320.

Kwon, Y. S. Ryu, C. M. Lee, S. Park, H. B. Han, K. S.Lee, J. H. Park, S. H. (2016): *Proteome analysis of Arabidopsis seedlings treated with rhizobacterium Bacillus subtilis GB03***.** Proteomics, 16(1), 60–73.

Lemanceau, P. Offre, P. Mougel, C. Gamalero, E. Dessaux, Y. Moenne-Loccoz, Y. Berta, G. (2006): Microbial ecology of the rhizosphere. In: Bloem, J., Hopkins, D.W. & Benedetti, A.

(Eds.), Microbiological Methods for Assessing Soil Quality. CABI Publishing, Cambridge, MA, États-Unis, pp. 228–230.

Lemoine, Clémentine. (2013) : Étude de l'influence des communautés bactériennes rhizosphériques sur la croissance des plantes cultivées. Mémoire de Master, Université d'Angers, France.

Lepinay, C. (2013) : Rôle des rhizobactéries dans la croissance des plantes et la lutte biologique contre les pathogènes. Mémoire de Master, Université d'Angers, France.

Lepoivre, P. (2003) : Phytopathologie. Éd. De Boeck Université, Belgique, 427 p.

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

Massaoud Boureghda, B. Rihane, N. (2024) : Utilisation des bactéries (PGPR) pour améliorer la production agricole et lutter contre les champignons nuisibles : Étude appliquée sur le blé. Mémoire de Master, spécialité Génétique, Université Constantine 1 Frères Mentouri, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Algérie. 113p.

Milner, J.L., L. Silo-Suh, J.C. Lee, H. He, J. Clardy, J. Handelsman. (1996) : Production of kanosamine by Bacillus cereus UW85. Appl. Environ. Microbiol. 62: 3061-3065

Moënne-Loccoz, Y. Mini, A. Richard, R. Valente, J.Prigent-Combaret, C. Le Gouis, J. (2019) : Intéractions racines x rhizobactéries et leur variabilité génétique chez le blé. Sélectionneur Français, (70), 87–93.

Moule,C.(1971) : phytotechnie spéciale. Tome II céréales. Édit : La maison Rustique.Paris. 94 pages

Nasraoui, B. (2006) : Les champignons parasites des plantes cultivées. Centre de Publication Universitaire, Tunis, 456 p.

Orhan, E.Esitken, A. Ercisli, S.Turan, M. Sahin, F. (2006): Effects of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield, growth and nutrient contents in organically growing raspberry. Scientia Horticulturae, 111(1), 38–43.

O'Sullivan ,D.J. O'gara ,F. (1992) : Traits of fluorescent Pseudomonas spp. involved in suppression of plant root pathogens. Microbiol. Rev. 56, 662-676.

Piano, S. Neyrotti, V. Migheli, Q. and Gullino, M.L. (1997): Biocontrol capability of Metschnikowia pulcherrima against Botrytis postharvest rot of apple. Postharvest Biol.Technol. 11(3):131-140.

Pujic, P. P. Normand. (2009) : La symbiose racinaire entre la bactérie Frankia et les plantes actinorhiziennes. Biofutur. 298: 26-29**.**

Qureshi, M. I. **(2012) :** Rôle des PGPR (Plant Growth-Promoting Rhizobacteria) dans la croissance végétale et la lutte contre les pathogènes. Thèse de doctorat, Université de Karachi, Pakistan.

Ramos Solano, B. Barriuso Maicas, J. Pereyra de la Iglesia, M.T.Domenech, J. Gutiérrez Mañero, F.J. (2008): Systemic disease protection elicited by plant growth promoting rhizobacteria strains: relationship between metabolic responses, systemic disease protection, and biotic elicitors. Phytopathology, 98, 451–457.

Rubio, E. J.Montecchia, M. S. Tosi, M. Cassán, F. D. Perticari, A. Correa, O. S. (2013) : Genotypic characterization of Azotobacteria isolated from Argentinean soils and plant-growth-promoting traits of selected strains with prospects for biofertilizer production. The Scientific World Journal, 2013.

Sebihi, F. Z. (2016) : Effet PGPR des souches de Pseudomonas fluorescens isolées de la rhizosphère du blé cultivé dans la région de Constantine. Thèse de Doctorat en Sciences, spécialité Génomique et Biotechnologie Avancées, Université de Constantine 1, Département d'Écologie et de Biologie, Algérie. Soutenue le 16 novembre 2016.

Slama A., Ben Salem M., Ben Naceur M.etZid E.D. (2005). Les céréales en Tunisie : production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance. Institut national de la recherche agronomique de Tunisie (INRAT). Univ. Elmanar. Tunisie. P62.

Soltner, D. (2005) : Les grandes productions végétales : céréales – plantes sarclées – prairies. 20e éd. Collection Sciences et Techniques Agricoles, pp. 458–464.

Somers, E. Vanderleyden, J. Srinivasan, M. (2004): Rhizosphere bacterial signalling: A love parade beneath our feet. Critical Reviews in Microbiology, 30(4), 205–240.

Spaepen, S., Vanderleyden, J., & Remans, R. (2007). Indole-3-acetic acid in microbial and microorganism-plant signaling. FEMS Microbiology Reviews, **31**, 425–448.

Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.Spaepen, S. Vanderleyden, J. (2011) : Auxin and plant-microbe interactions. Cold Spring Harb. Perspect. Biol. http://dx.doi.org/ 10.1101/cshperspect.a001438.

Tilak, K.V.B.R., Ranganayaki, N. Pal, K.K. De, R. Saxena, A.K., Nautiyal, C.S. Mittal, S. Tripathi, A.K. Johri, B.N. (2005) : Diversity of plant growth and soil health supporting bacteria. Current Science, 89, 136–150.

Trevors, J.T. Van Elsas, J.D. (1997): Microbial interactions in soil. In : Van Elsas, J.D., Trevors, J.T. & Wellington, E.M.H. (Eds.), Modern Soil Microbiology. Marcel Dekker, Inc., New York, pp. 215–243.

United Nations. (2001): *World Population Prospects: The 2000 Revision*. Department of Economic and Social Affairs, Population Division, United Nations. New York.

Valencia, L.G.H. (2008) : Études des bases moléculaires de l'agrégation des sols par des exopolysaccharides bactériens. Université Joseph Fourier, Grenoble I, 196 p.

Van Loon, L.C. Bakker, P.A.H.M. (2005): Induced systemic resistance as a mechanism of disease suppression by rhizobacteria, p. 39–66. In Siddiqui, Z.A. (ed.), PGPR: Biocontrol and Biofertilization. Springer Science, Dordrecht, The Netherlands.

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

Walker, T. S. Bais, H. P. Grotewold, E. Vivanco, J. M. (2011): *Root exudation and rhizosphere biology*. Plant Physiology, 132(1), 44–51.

Weise, M. V. (1987): Compendium of wheat diseases. The American Phytopathological Society, 109 p.

Weller, D.M. (1988): Biological control of soilborne plant pathogens in the rhizosphere with bacteria. Annu.Rev. Phytopathol. 26: 379-407.

Weyens, N. Monchy, S. Vangronsveld, J.Taghavi, S. Vander Lelie, D. (2010): Plant–Microbe Partnerships, pp. 254–2564. In Timmis, K. N. (Ed.), Handbook of Hydrocarbon and Lipid Microbiology. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

Whippes, J.M. (2001: Microbial interactions and biocontrol in the rhizosphere. Journal of Experimental Botany, 52, 487–511.

Zahir, Z. A, M. Arshad, W.T. Frankenberger, Jr. (2004): Plant growth promoting rhizobacteria : application and perspectives in agriculture. Adv. Agro. 81: 97-198.

Zeller, S.L., H. Brandt B. Schmid., (2007): Host-Plant Selectivity of Rhizobacteria in a Crop/Weed Model System. PloS ONE, 2(9): 1-7.

Zohary, D. (1973): Geobotanical foundation of the Middle East. Vol. 1, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Germany.

Annexes

Annexe 1

Milieux de culture

Milieu PDA (Potato Dextrose Agar) g/l :

- 200g de pomme de terre,

-20g d'agar,

- 20g de dextrose.

Le milieu a été autoclave pendant 20 min à 121°C.

Milieu PDB Bouillon g/l :

- 200g de pomme de terre,

-20g d'agar,

- Le milieu a été autoclave pendant 20 min à 121°C.

Milieu Bouillon Nutritif (BN) (g/l) :

- 15 g Bouillon Nutritif déshydraté

- 1 litre eau distillée

Annexe 2

Tableau 1 : Longueur des parties aériennes et racinaires des différentes variétés de céréales

	Longueur (cm)													
	ARZ		DK		OR R		OR F		A A		OZ		T B	
	A	R	A	R	A	R	A	R	A	R	A	R	A	R
R1	25	21	24	16	25	14	26	8	28	11	33	12	23	10
R2	24	11	27	18	22,5	12,5	18	7	24	11	34	11	19	17
R3	24	19	24	13	21,6	14	22	9	35	12	26	8	20	12
R4	27	19	25	16	23	16	21	10	27	12	31	9	27	11
R5	28,5	15,5	26	15	21	14,5	15	6	21	10	32	8	30	12
R6	27	13,8	28	20	21,5	10	22	10	28	7	28	12	31	13
R7	31	13,3	20	17	16	11	27	11	31	13	32	10	32	6
R8	28	14	29	14	21	14	21	10	28	11	36	13	27	10
R9	26	15,6	23	16	20	14,5	19	10	21	11	35	12	15	10
R10	23	14	28	13	30	13	28	9	28	9	36	10	26	8
Témo	18	6	11	9	15	9	16	8	13	6	18	5	12	8

Tableau 2 : Poids frais des parties aériennes et racinaires des différentes variétés de céréales

	POIDS FRAIS (g)													
	ARZ		DK		OR R		OR F		A A		O Z		T B	
	A	R	A	R	A	R	A	R	A	R	A	R	A	R
R1	0,23	0,16	0,1	0,16	0,21	0,33	0,6	0,5	0,23	0,45	0,13	0,3	0,3	0,15
R2	0,22	0,16	0,33	0,32	0,86	0,26	0,27	0,3	0,28	0,94	0,6	0,6	0,3	0,36
R3	0,15	0,16	0,18	0,21	0,44	0,46	0,43	0,4	0,36	0,85	0,2	0,14	0,26	0,5
R4	0,75	0,69	0,22	0,18	0,32	0,59	0,38	0,68	0,21	0,25	0,55	0,9	0,5	0,68
R5	0,31	0,26	0,37	0,26	0,28	0,25	0,2	0,3	0,19	0,17	0,57	0,5	0,38	0,72
R6	0,5	0,52	0,14	0,29	0,12	0,11	0,6	0,5	0,11	0,16	0,2	0,57	0,67	0,68
R7	0,39	0,23	0,16	0,1	0,08	0,04	0,55	0,63	0,21	0,68	0,44	0,48	0,45	0,4
R8	0,25	0,19	0,48	0,25	0,2	0,24	0,22	0,5	0,33	0,45	0,5	0,6	0,8	0,5
R9	0,33	0,46	0,45	0,35	0,5	0,25	0,23	0,38	0,4	0,6	0,39	0,48	0,25	0,24
R10	0,36	0,43	0,73	0,41	0,32	0,27	0,22	0,2	0,41	0,35	0,45	0,26	0,5	0,25
T	0,22	0,19	0,11	0,09	0,13	0,2	0,1	0,16	0,21	0,17	0,2	0,22	0,2	0,18

Tableau 3 : Poids sec des parties aériennes et racinaires des différentes variétés de céréales

	POIDS SEC (g)													
	ARZ		DK		OR R		OR F		A A		OZ		T B	
	A	R	A	R	A	R	A	R	A	R	A	R	A	R
R1	0,02	0,05	0,08	0,06	0,15	0,16	0,06	0,14	0,05	0,09	0,04	0,08	0,05	0,07
R2	0,04	0,13	0,1	0,08	0,3	0,13	0,07	0,09	0,06	0,2	0,09	0,1	0,07	0,08
R3	0,08	0,03	0,08	0,06	0,1	0,23	0,05	0,13	0,11	0,24	0,04	0,05	0,06	0,1
R4	0,06	0,08	0,06	0,11	0,12	0,13	0,09	0,16	0,08	0,12	0,16	0,3	0,08	0,13
R5	0,09	0,07	0,01	0,01	0,09	0,17	0,08	0,15	0,05	0,07	0,11	0,18	0,07	0,14
R6	0,11	0,17	0,12	0,08	0,04	0,05	0,09	0,09	0,04	0,05	0,09	0,14	0,15	0,15
R7	0,09	0,07	0,05	0,08	0,06	0,04	0,09	0,14	0,08	0,15	0,12	0,13	0,08	0,09
R8	0,12	0,06	0,11	0,22	0,1	0,12	0,05	0,08	0,08	0,17	0,2	0,17	0,2	0,12
R9	0,03	0,11	0,12	0,11	0,17	0,12	0,07	0,11	0,17	0,18	0,14	0,22	0,09	0,08
R10	0,04	0,05	0,15	0,24	0,07	0,05	0,13	0,09	0,11	0,13	0,08	0,09	0,12	0,09
T	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,04	0,04	0,06	0,04	0,03	0,04	0,06	0,04	0,05

Année universitaire : 2024-2025

Présenté par : SAOULI Fatima Belkis et KOULOUGHLI Lina Malak

Université Constantine 1 Frères Mentouri
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

جامعة قسنطينة 1 الإخوة منتوري
كلية علوم الطبيعة والحياة

Département : Biologie et physiologies végétale

Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en Biologie et Physiologie de la reproduction

Effet PGPR des bactéries rhizosphèriques sur la croissance de quelques céréales cultivées à Constantine

Résumé :

Notre travail se concentre sur l'étude des bactéries rhizosphériques promotrices de croissance des plantes (PGPR) et leur interaction avec différentes espèces céréalières cultivées en Algérie. L'objectif principal de ce travail est de mettre en évidence l'effet bénéfique de ces bactéries sur la croissance des plantes et leur capacité à inhiber les agents pathogènes, notamment les champignons du genre *Fusarium.*

Pour atteindre cet objectif, une synthèse bibliographique a été proposée. Elle traite d'abord les céréales sous l'angle historique, économique et botanique, puis présente le concept de rhizosphère et ses diverses interactions biologiques. Une attention particulière a été portée sur le rôle des PGPR dans la nutrition, la croissance et la protection des plantes.

Pour illustrer l'effet de ces bactéries, un volet expérimental a été réalisé. Il consiste à évaluer l'impact de plusieurs isolats bactériens sur la croissance de différentes céréales (blé dur, blé tendre, orge, triticale) et sur la résistance face aux infections fongiques induites par *Fusarium sp.*

Les résultats obtenus montrent que certaines souches PGPR, ont significativement stimulé la croissance des parties aériennes et racinaires des céréales testées, tout en réduisant l'effet pathogène du *Fusarium* sp avec ces deux espèces testées. Ces observations confirment le potentiel biostimulant et bioprotecteur des PGPR dans le contexte agroécologique local.

Mots-clefs : Céréales**,** PGPR, Rhizosphère, *Fusarium*.

Laboratoires de recherche : laboratoire de Zoologie (U Constantine 1 Frères Mentouri)

Président : ZAGHAD Nadia (MCA - U Constantine 1 Frères Mentouri).

Encadrant : SAOUDI Mouna (MCA- U Constantine 1 Frères Mentouri).

Examinateur(s): MADI Aicha (MCA - U Constantine 1 Frères Mentouri).