



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Ecole Nationale Supérieure Agronomique

المدرسة الوطنية العليا للفلاحة القسم : الإنتاج

Département : Productions végétales

النباتي

Spécialité : Ressources génétiques et amélioration des  
productions végétales

التخصص : الموارد الوراثية وتحسين الإنتاج النباتي

Mémoire De Fin D'études

Pour l'obtention du Diplôme de Master En Sciences Agronomiques

***THEME***

**Valorisation de l'ingénierie du microbiome pour améliorer les performances des semences et la croissance du pois chiche**

Présenté par : **M. KARA Abdennacer**

Soutenu publiquement le : 07/07/2025

Devant le jury composé de :

Présidente :	<b>Mme. BELOUHRANI Amel Souhila</b>	<b>(MCA-ENSA)</b>
Promoteur :	<b>M. RAHMOUNE Bilal</b>	<b>(MCA-ENSA)</b>
Examineur :	<b>M. KADRI Adel</b>	<b>(MCA-ENSA)</b>
Invité :	<b>M. BOUZAA Saad</b>	<b>(OAIC)</b>

Promotion : 2020-2025

# TABLE DES MATIÈRES

Liste des tableaux.....	X
Liste des figures... ..	XI
Liste des abréviations... ..	XIII
Liste des annexes... ..	XIV
<b>Introduction .....</b>	<b>1</b>
<b>Synthèse bibliographique.....</b>	<b>4</b>
<b>Chapitre I : Microbiome végétal.....</b>	<b>5</b>
1. Introduction au microbiome végétal... ..	6
1.1. Définition et généralités... ..	6
1.2. Différentes niches microbiennes associées aux plantes... ..	6
2. Genres du microbiome végétal... ..	7
2.1. Microbiome rhizosphérique.....	7
2.2. Microbiome phyllosphérique.....	9
2.3. Microbiome endosphérique .....	10
3. Importance agronomique et écologique du microbiome végétal... ..	10
3.1. Rôle dans la croissance et la santé des plantes... ..	10
3.2. Contribution aux cycles biogéochimiques... ..	11
3.3. Impacts sur la durabilité des agroécosystèmes... ..	11
4. Méthodologies d'exploration du microbiome... ..	12
4.1. Approches classiques d'isolement et d'identification .....	12
4.2. Outils moléculaires en microbiologie végétale .....	13
4.2.1. Séquençage à haut débit et métagénomique .....	13
4.2.2. Méthodes de détection in situ (hybridation, marquage fluorescent)... ..	13
5. Bactéries promotrices de la croissance végétale (Plant Growth Promoting Bacteria)... ..	14
5.1. Principes des PGPR (définition et taxonomie).....	14
5.2. Mécanismes d'interaction plante-PGPR .....	14
5.2.1. Fixation d'azote atmosphérique .....	15
5.2.2. Solubilisation Des éléments nutritifs... ..	15
5.2.3. Production de métabolites secondaires... ..	16
5.3. Utilisation agronomique des PGPB.....	17
5.3.1. Amélioration de la vigueur des semences... ..	17
5.3.2. Rôle dans la durabilité des systèmes agricoles... ..	17
6. Rhizobactéries promotrices de la croissance des plantes (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) .....	18
6.1. Définition et généralités... ..	18
6.2. Rôle des PGPR .....	19
6.2.1. Promotion de la croissance des plantes.....	19
6.2.2. Bio-contrôle et protection contre les agents pathogènes... ..	19
6.2.3. Impact écologique et agronomique .....	19

<b>Chapitre II : Pois chiche .....</b>	<b>21</b>
1. Origine et importance agronomique du pois chiche.....	22
2. Production mondiale de pois chiche.....	23
3. Production de pois chiche en Algérie.....	23
4. Définition et importance des semences en agriculture.....	24
5. Facteurs influençant la qualité et la productivité des semences.....	24
6. Critères d'évaluation des semences.....	25
7. Structure et composition des graines de pois chiche.....	25
<b>Chapitre III : Ingénierie de microbiome et techniques d'amélioration de performances de semences .....</b>	<b>27</b>
1. Définition et généralités.....	28
2. Outils de l'ingénierie de microbiome.....	28
2.1. Consortiums bactériens .....	28
2.2. Inoculation des semences .....	29
2.3. Techniques d'amélioration des performances des semences.....	30
2.3.1. Encapsulation.....	30
2.3.2. Enrobage des semences.....	31
2.4. Techniques d'inoculation des semences.....	32
2.4.1. Pelliculisation (film-coating).....	32
2.4.2. Agglomération (pelleting).....	32
2.4.3. Microencapsulation .....	32
2.5. Effets de l'inoculation des semences sur la qualité des semences.....	33
<b>Matériels et méthodes .....</b>	<b>35</b>
I. Rappel de l'objectif de travail .....	36
II. Lieu d'expérimentation.....	36
III. Matériel utilisés.....	36
1. Matériel bactérien.....	36
2. Matériel végétal.....	36
3. Sol agricole.....	36
IV. Méthodes de travail .....	37
<b>Partie 1 : Isolement et caractérisation des souches PGPR .....</b>	<b>37</b>
1. Prélèvement des échantillons, isolement et purification des souches PGPR .....	37
1.1. Échantillonnage du sol.....	37
1.2. Isolement des souches.....	37
1.3. Ensemencement et incubation.....	38
1.4. Sélection des colonies bactériennes.....	38
1.5. Purification des isolats.....	39
1.6. Conservation des isolats .....	39
2. Identification et caractérisation des PGPB .....	40
2.1. Caractérisation macroscopique.....	40
3. Caractérisation biochimique.....	40

3.1. Etude des enzymes respiratoires.....	40
3.1.1. Production de l'oxydase.....	40
3.1.2. Production de catalase.....	40
3.2. Analyse des traits PGP.....	41
3.2.1. Fixation d'azote atmosphérique.....	41
3.2.2. Solubilisation du phosphore.....	41
3.2.3. Solubilisation du zinc.....	41
4. Cinétique de croissance des souches bactériennes.....	42
5. Évaluation de la tolérance des PGPR aux stress abiotiques.....	43
5.1. Tolérance au stress salin.....	43
5.2. Tolérance thermique.....	43
5.3. Tolérance du pH.....	43
<b>Partie 2 : Développement et élaboration des consortiums.....</b>	<b>43</b>
1. Compatibilité des souches isolées.....	43
2. Classification et sélection des souches et design des formules d'inoculation.....	44
3. Processus d'inoculation des semences.....	44
<b>Partie 3 : Evaluation du potentiel des semences inoculées.....</b>	<b>45</b>
1. Stérilisation et mise en germination.....	45
2. Design de l'expérimentation.....	46
3. Paramètres étudiés.....	47
3.1. Germination.....	47
3.2. Nombre de ramifications des plants.....	48
3.3. Hauteur de la tige.....	48
3.4. Teneur en chlorophylle.....	48
3.5. Fixation d'azote atmosphérique.....	49
3.6. Phosphore assimilable.....	49
4. Analyses statistiques des données.....	52
<b>Résultats et discussion.....</b>	<b>54</b>
<b>I. Résultats.....</b>	<b>55</b>
<b>Partie 1 : Isolement et caractérisation des souches PGPR.....</b>	<b>55</b>
1. Prélèvement des échantillons, isolement et purification des souches PGPR.....	55
1.1. Isolement des souches.....	55
1.2. Caractérisation et identification des souches.....	55
1.3. Sélection des colonies bactériennes.....	55
2. Identification et caractérisation des PGPR.....	56
2.1. Caractérisation macroscopique.....	56
3. Caractérisation biochimique.....	57
3.1. Etude des enzymes respiratoires.....	57
3.1.1. Production de l'oxydase.....	57
3.1.2. Production de catalase.....	59
3.2. Analyse des traits PGP.....	60
3.2.1. Fixation d'azote atmosphérique.....	60
3.2.2. Solubilisation du phosphore.....	61

3.2.3. Solubilisation du zinc.....	62
4. Cinétique de croissance des souches bactériennes.....	64
5. Évaluation de la tolérance des PGPR aux stress abiotiques.....	65
5.1. Tolérance au stress salin.....	65
5.2. Tolérance thermique.....	66
5.3. Tolérance du Ph.....	68
<b>Partie 2 : Développement et élaboration des consortiums.....</b>	<b>69</b>
1. Compatibilité des souches isolées.....	69
2. Classification et sélection des souches et design des formules d'inoculation.....	71
<b>Partie 3 : Evaluation du potentiel des semences inoculées .....</b>	<b>71</b>
1. Évaluation préliminaire de la germination des semences de pois chiche.....	71
2. Paramètres étudiés.....	73
2.1. Germination.....	73
2.2. Nombre de ramifications des plants.....	75
2.3. Hauteur de la tige .....	76
2.4. Teneur en chlorophylle.....	78
2.5. Fixation d'azote total dans le substrat.....	79
2.6. Phosphore assimilable .....	81
3. Analyses en composantes principales(ACP).....	83
<b>II. Discussion .....</b>	<b>87</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>97</b>
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>100</b>
<b>Annexes .....</b>	<b>115</b>

## Abstract

This study aims to isolate and characterize new Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) strains native to arid soils in Algeria, particularly from the Oued-Souf region and other areas with similar climates. It also seeks to design bacterial consortia adapted to local edaphic conditions and then evaluate their biostimulant potential on chickpea (*Cicer arietinum* L.) seeds, with the goal of stimulating the development of this strategic crop in southern Algeria.

Eleven bacterial strains were isolated: nine from the rhizosphere and sandy soils of the Oued-Souf region, and two from chickpea nodules cultivated in the same area. These isolates exhibit remarkable diversity as well as plant growth-promoting (PGP) characteristics. These include a high capacity for atmospheric nitrogen fixation, effective phosphorus solubilization and zinc solubilisation. Furthermore, these strains demonstrate robust tolerance to the main abiotic stresses of arid zones, notably salinity, high temperatures, and a wide pH range. Inter-strain compatibility allowed for the formulation of two distinct bacterial consortia, adapted to local edaphic conditions.

The evaluation of the performance of the PGPR-based formulas reveals that the bacterial consortia significantly improve chickpea growth and soil fertility. Treatments with the nodular strains (INJ-NOD) induced significantly greater height growth and a notable increase in the total nitrogen content of the substrate, as well as an improvement in available phosphorus. These results highlight the remarkable potential of native PGPR as robust and adapted bio-inoculants, capable of strengthening national programs and strategies aimed at promoting chickpea cultivation in the Oued-Souf region, the Douilet OAIC station (34° 11' 2.12" N, 7° 18' 55" E).

**Keywords:** PGPR, Chickpea, Plant Microbiome, Sustainable Agriculture, Seed Inoculation, Arid Zones

## Résumé

Cette étude vise à isoler et caractériser de nouvelles souches de PGPR indigènes des sols arides d'Algérie, notamment de la région d'Oued-Souf et d'autres zones à climat similaire. Elle a également pour but de concevoir des consortiums bactériens adaptés aux conditions édaphiques locales, puis d'évaluer leur potentiel biostimulant sur les semences de pois chiche (*Cicer arietinum* L.), en vue de stimuler le développement de cette culture stratégique dans le sud algérien.

Onze souches bactériennes sont isolées, dont neuf à partir de la rhizosphère et des sols sableux de la région d'Oued-Souf, et deux à partir des nodules de pois chiche cultivés dans la même zone. Ces isolats présentent une diversité remarquable ainsi que des caractéristiques de promotion de la croissance des plantes (PGP), incluant une capacité élevée de fixation de l'azote atmosphérique, une solubilisation efficace du phosphore et du zinc. En outre, ces souches démontrent une tolérance robuste aux principaux stress abiotiques des zones arides, notamment la salinité, les températures élevées, ainsi qu'une large amplitude de pH. La compatibilité inter-souches a permis la formulation de deux consortiums bactériens distincts, adaptés aux conditions édaphiques locales.

L'évaluation des performances des formules à base de PGPR révèle que les consortiums bactériens améliorent significativement la croissance du pois chiche et la fertilité du sol. Les traitements avec les souches nodulaires (INJ-NOD) ont induit une croissance en hauteur significativement supérieure et une augmentation notable de la teneur en azote total du substrat, ainsi qu'une amélioration du phosphore assimilable. Ces résultats mettent en évidence le potentiel remarquable des PGPR indigènes en tant que bio-inoculants robustes et adaptés, susceptibles de renforcer les programmes et les stratégies nationales visant à promouvoir la culture du pois chiche dans la région d'Oued-Souf, la station de l'OAIC de Douilet (34° 11' 2.12" N, 7° 18' 55" E).

**Mots-clés :** PGPR, Pois chiche, Microbiome végétal, Agriculture durable, Inoculation des semences, Zones arides.

## الملخص

تهدف هذه الدراسة إلى عزل وتوصيف سلالات جديدة من PGPR الأصلية في التربة المجربة في الجزائر، وخاصة من منطقة وادي سوف والمناطق الأخرى ذات المناخ المماثل. كما يهدف المشروع إلى تصميم اتحادات بكتيرية تتكيف مع ظروف التربة المحلية، ومن ثم تقييم إمكاناتها كمحفز حيوي على بذور الحمص (*Cicer arietinum* L.) ، بهدف تطوير هذا المحصول الاستراتيجي في جنوب الجزائر.

تم عزل إحدى عشر سلالة بكتيرية، تسعة منها من منطقة الجذور والتربة الرملية في منطقة وادي سوف، واثنان من عقيدات الحمص المزروعة في نفس المنطقة. تتميز هذه العزلات بتنوع ملحوظ وخصائص تعزيز نمو النبات (PGP) ، بما في ذلك قدرة عالية على تثبيت النيتروجين الجوي وإذابة فعالة للفوسفور والزنك. وعلاوة على ذلك، تظهر هذه السلالات قدرة قوية على تحمل الضغوط غير الحيوية الرئيسية في المناطق القاحلة، بما في ذلك الملوحة ، ودرجات الحرارة المرتفعة ، فضلاً عن نطاق واسع من درجة الحموضة من سمح التوافق بين السلالات بتكوين مجموعتين بكتيريتين متميزتين، تتكيفان مع الظروف البيئية المحلية.

يكشف تقييم أداء الصيغ القائمة على PGPR أن اتحادات البكتيريا تعمل على تحسين نمو الحمص وخصوبة التربة بشكل كبير. أدت المعالجات بسلالات العقيدات (INJ-NOD) إلى نمو ارتفاع أعلى بشكل ملحوظ وزيادة ملحوظة في محتوى النيتروجين الكلي للركيزة ، بالإضافة إلى تحسن في الفوسفور المتاح. تسلط هذه النتائج الضوء على الإمكانيات المذهلة لـ PGPR المحلية باعتبارها ملقحات حيوية قوية ومناسبة، ومن المرجح أن تعزز البرامج والاستراتيجيات الوطنية الرامية إلى تعزيز زراعة الحمص في منطقة وادي سوف، محطة الديوان المهني الجزائري للحبوب (OAIC) بالدويلات (34° 11' 2.12" شمالاً، 7° 18' 55" شرقاً).

### الكلمات المفتاحية :

PGPR، الحمص، ميكروبيوم النبات، الزراعة المستدامة، تلقيح البذور، الأراضي الجافة.