الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Université Ferhat Abbas Sétif -1

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

جامعة فرحات عباس، سطيف 1

كلية علوم الطبيعة والحياة

DEPARTEMENT DE MICROBIOLOGIE

N°……. / SNV /2026

MÉMOIRE

Présenté par

MERABTINE Samah

MERAZIG Ibtihel

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER

Filière : Biologie

Spécialité : Microbiologie

THÈME :

L'importance des PGPR dans la production végétale

Soutenue publiquement le 29 / 06 / 2026

Devant le jury :

DJELLEL Nadjiha	Dr. UFA Sétif 1	Présidente
SAIDI Samira	Dr. UFA Sétif 1	Promotrice
KAABOUR Faiza	Dr. UFA Sétif 1	Examinatrice

2025 / 2026

Introduction

Le changement climatique constitue aujourd'hui l'un des principaux défis pour la productivité agricole mondiale et la sécurité alimentaire. La croissance et le rendement des cultures sont affectés par une augmentation des températures mondiales et une accélération des stress abiotiques, tels que la sécheresse, la salinité et les conditions climatiques extrêmes. Ce phénomène favorise également l'augmentation des prix des aliments, pouvant provoquer une catastrophe alimentaire affectant des millions d'êtres humains d'ici 2050 (Gupta et al., 2024).

Dans ce cadre, l'application de stratégies agricoles durables a été démontré essentielle pour assurer la production de produits alimentaires tout en préservant les ressources naturelles. Ainsi, des efforts importants sont menés afin de réduire l'usage excessif des engrais chimiques et des pesticides, tout en développant des alternatives biologiques capables d'améliorer la résistance des plantes aux différents stress (Szpytma et Dobrzyński, 2026).

Les Rhizobactéries Promotrices de Croissance Végétale (Plant Growth-Promoting Rhizobacteria, PGPR) constituent une solution prometteuse et respectueuse de l'environnement. Ces dernières colonisent la rhizosphère et favorisent le développement des plantes par divers mécanismes directs et indirects, notamment l'amélioration de la disponibilité des nutriments, la production de phytohormones et la protection contre les agents phytopathologéne (Srivastava, 2017).

Par ailleurs, les PGPR constituent une alternative durable permettant de réduire la dépendance aux intrants chimiques et d'améliorer la tolérance des plantes aux conditions environnementales difficiles (Gupta et al., 2015 ; Szpytma et Dobrzyński, 2026).
Toutefois, malgré le grand intérêt accordé aux PGPR, leurs mécanismes d'action et leur impact sur la croissance et la nutrition des plantes restent variables et conditionnés par les conditions environnementales, soulevant le problème de leur efficacité réelle et de leur fonctionnement dans divers systèmes agricoles (Szpytma et Dobrzyński, 2026).
De ce cadre, le présent travail vise, à travers une étude bibliographique, d'analyser le rôle des PGPR dans l'amélioration de la croissance des plantes et de leur nutrition minérale. Il s'agit, plus précisément, d'identifier les mécanismes d'action essentiels, d'évaluer l'impact sur les paramètres de croissance des plantes et de démontrer leur capacité à agir comme des fer-tilisants biologiques pour une agriculture durable.

Table des matières

Remerciement

Résumé

Abstract

ملخص

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction ..... Erreur ! Signet non défini.

Chapitre I : Généralités sur les PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria).. Erreur ! Signet non défini.

I.1. Définition ..... **Erreur ! Signet non défini.**

I.2. Historique et importance ..... **Erreur ! Signet non défini.**

I.3. Classification ..... **Erreur ! Signet non défini.**

I.3.1. Principaux groupes et genres des PGPR ..... **Erreur ! Signet non défini.**

1. *Pseudomonas* ..... **Erreur ! Signet non défini.**

2. *Bacillus* ..... **Erreur ! Signet non défini.**

3.*Azospirillum* ..... **Erreur ! Signet non défini.**

4. *Rhizobium* ..... **Erreur ! Signet non défini.**

Chapitre II : La rhizosphère et les interactions PGPR–plante–sol ..... Erreur ! Signet non défini.

II.1. La rhizosphère ..... **Erreur ! Signet non défini.**

II.1.1. Définition et caractéristiques ..... **Erreur ! Signet non défini.**

II.2. Colonisation racinaire par les PGPR ..... **Erreur ! Signet non défini.**

II. 2.1 Les exsudats racinaires ..... **Erreur ! Signet non défini.**

II.3. Communication moléculaire PGPR-Plante ..... **Erreur ! Signet non défini.**

II.3.1. Signaux chimiques et interactions plante-microorganismes ..... **Erreur ! Signet non défini.**

II.3.2. Quorum sensing et régulation de la communication bactérienne .... **Erreur ! Signet non défini.**

II.4. Rôle du microbiome de la rhizosphère ..... **Erreur ! Signet non défini.**

II.4.1. PGPR comme composante du microbiome..... **Erreur ! Signet non défini.**

II.4.2 Interactions PGPR–champignons mycorhiziens ..... **Erreur ! Signet non défini.**

II.4. 3 Concept de l'holobionte plante–microbiome ..... **Erreur ! Signet non défini.**

II.5. Facteurs influençant l'efficacité des PGPR ..... **Erreur ! Signet non défini.**

II.5.1 Facteurs biotiques..... **Erreur ! Signet non défini.**

II.5.2 facteurs abiotiques..... **Erreur ! Signet non défini.**

II.5.3 Conditions environnementales et pratiques agricoles .... **Erreur ! Signet non défini.**

Chapitre III : Mécanismes d'action des PGPR dans la production végétale Erreur ! Signet non défini.

III.1. Mécanismes directs..... **Erreur ! Signet non défini.**

III.1.2 Solubilisation du phosphore..... **Erreur ! Signet non défini.**

III.1. 3 Production de phytohormones (IAA, cytokinines, gibbérellines) .. **Erreur ! Signet non défini.**

III.1. 3.1. Acide Indole-3-Acétique (IAA)..... **Erreur ! Signet non défini.**

L'acide indole-3-acétique ..... **Erreur ! Signet non défini.**

III.1. 3.2. Cytokinines ..... **Erreur ! Signet non défini.**

III.1. 3.3. Gibberellines..... **Erreur ! Signet non défini.**

III.1. 4. Amélioration de l'absorption des nutriments..... **Erreur ! Signet non défini.**

III.2. Mécanismes indirects ..... **Erreur ! Signet non défini.**

III.2.1 Production de sidérophores..... **Erreur ! Signet non défini.**

III.2.2 Production d'antibiotiques..... **Erreur ! Signet non défini.**

III.2.3 Compétition avec les microorganismes pathogènes ..... **Erreur ! Signet non défini.**

III.2.4 Induction de la résistance systémique (ISR)..... **Erreur ! Signet non défini.**

III.3. Rôle des PGPR dans la tolérance aux stress abiotiques ..... **Erreur ! Signet non défini.**

III.3. 1. Stress salin ..... **Erreur ! Signet non défini.**

III.3. 2. Stress hydrique (sécheresse) ..... **Erreur ! Signet non défini.**

III.3.3. Stress thermique ..... **Erreur ! Signet non défini.**

III.3.4. Stress lié aux métaux lourds ..... **Erreur ! Signet non défini.**

III.4. Régulation du stress oxydatif chez les plantes ..... **Erreur ! Signet non défini.**

III. 4.1 Activation des enzymes antioxydantes (SOD, CAT, POD) .... **Erreur ! Signet non défini.**

III.4.2 Réduction des espèces réactives de l'oxygène (ROS) .. **Erreur ! Signet non défini.**

III.5. Effets des PGPR sur la croissance et la productivité des plantes ... **Erreur ! Signet non défini.**

III.5.1. Effets sur la germination ..... **Erreur ! Signet non défini.**

III.5.2. Effets sur le développement racinaire ..... **Erreur ! Signet non défini.**

III .5.3. Effets sur la croissance végétative ..... **Erreur ! Signet non défini.**

III.5.4. Effets sur le rendement et la qualité des productions végétales..... **Erreur ! Signet non défini.**

III.5.5. Effets des PGPR sur la qualité nutritionnelle des plantes..... **Erreur ! Signet non défini.**

Chapitre IV : Applications et perspectives des PGPR dans la production végétale Erreur ! Signet non défini.

IV .1 Rôle des PGPR dans la protection des cultures..... **Erreur ! Signet non défini.**

IV .1.1. Lutte biologique et résistance des plantes via les PGPR (Biocontrôles) ... **Erreur ! Signet non défini.**

IV .1.2. Diminution de l'application des pesticides chimiques **Erreur ! Signet non défini.**

IV.2 Applications des PGPR en agriculture durable ..... **Erreur ! Signet non défini.**

IV.2.1. Biofertilisants et ses effets sur la fertilité des sols..... **Erreur ! Signet non défini.**

IV.2.2. Biostimulants ..... **Erreur ! Signet non défini.**

IV.3. Innovations récentes et limites d'utilisation ..... **Erreur ! Signet non défini.**

IV.3.1 Innovation récentes ..... **Erreur ! Signet non défini.**

IV.3.2. Limites ..... **Erreur ! Signet non défini.**

IV.4. Formulation, production et commercialisation des PGPR . **Erreur ! Signet non défini.**

IV.4.1. Techniques de formulation ..... **Erreur ! Signet non défini.**

IV.4.2. Conservation, stockage et durée de vie (Shell life) ..... **Erreur ! Signet non défini.**

IV.5 Perspectives futures ..... **Erreur ! Signet non défini.**

IV.5.1. Sélection des souches performantes ..... **Erreur ! Signet non défini.**

IV.5.2. Approches omiques ..... **Erreur ! Signet non défini.**

IV.5.3 Agriculture climato-intelligente..... **Erreur ! Signet non défini.**

Conclusion..... Erreur ! Signet non défini.

Références bibliographique..... Erreur ! Signet non défini.

Résumé

Les rhizobactéries promotrices de la croissance des plantes (Plant Growth-Promoting Rhizobacteria, PGPR) constituent une composante essentielle du microbiome de la rhizosphère et représentent une alternative biologique prometteuse pour le développement d'une agriculture durable. Grâce à leurs interactions complexes avec les racines des plantes, ces microorganismes améliorent la disponibilité des nutriments, stimulent la croissance végétale et renforcent la tolérance des cultures aux contraintes biotiques et abiotiques.

Le présent mémoire bibliographique a pour objectif de synthétiser les connaissances scientifiques actuelles relatives aux PGPR, en mettant l'accent sur leur diversité, leurs mécanismes d'action et leurs applications dans la production végétale. L'étude aborde successivement les caractéristiques de la rhizosphère, les processus de colonisation racinaire et les interactions moléculaires plante–microorganismes, avant d'analyser les principaux mécanismes impliqués dans la promotion de la croissance végétale, notamment la fixation biologique de l'azote, la solubilisation du phosphore, la production de phytohormones, l'activité de l'ACC déaminase, la synthèse de sidérophores ainsi que les mécanismes de biocontrôle et d'induction de la résistance systémique.

Cette synthèse met également en évidence l'influence des facteurs environnementaux et des pratiques agricoles sur l'efficacité des PGPR, ainsi que les avancées récentes concernant leur formulation, leur utilisation comme biofertilisants et biostimulants, et les approches innovantes basées sur les technologies omiques. Les données analysées confirment que les PGPR constituent un levier majeur pour améliorer la productivité des cultures, préserver la fertilité des sols et réduire l'utilisation des intrants chimiques. Toutefois, leur efficacité en conditions de terrain demeure dépendante des interactions entre les souches bactériennes, la plante hôte et les caractéristiques du sol, ce qui justifie la poursuite des recherches visant à optimiser leur application dans les systèmes agricoles modernes.

Mots-clés : PGPR, rhizosphère, microbiome, croissance végétale, biofertilisants, biostimulants, biocontrôle, agriculture durable.

Abstract

Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) constitute an essential component of the rhizosphere microbiome and represent a promising biological alternative for the development of sustainable agriculture. Through their complex interactions with plant roots, these beneficial microorganisms enhance nutrient availability, stimulate plant growth, and improve crop tolerance to both biotic and abiotic stresses.

This literature review aims to synthesize current scientific knowledge on PGPR, with particular emphasis on their diversity, mechanisms of action, and applications in plant production. The study first examines the characteristics of the rhizosphere, root colonization processes, and plant–microorganism molecular interactions, before discussing the main mechanisms involved in plant growth promotion, including biological nitrogen fixation, phosphate solubilization, phytohormone production, ACC deaminase activity, siderophore synthesis, biocontrol mechanisms, and the induction of systemic resistance.

The review also highlights the influence of environmental factors and agricultural practices on PGPR performance, as well as recent advances in their formulation, their use as biofertilizers and biostimulants, and innovative approaches based on omics technologies. The analyzed data confirm that PGPR constitute a major tool for improving crop productivity, preserving soil fertility, and reducing dependence on chemical inputs. However, their effectiveness under field conditions remains strongly influenced by the interactions among bacterial strains, host plants, and soil characteristics, emphasizing the need for further research to optimize their application in modern agricultural systems.

Keywords: PGPR, rhizosphere, microbiome, plant growth, biofertilizers, biostimulants, biocontrol, sustainable agriculture

ملخص

تُعد البكتيريا المحفزة لنمو النباتات (PGPR) أحد المكونات الأساسية لميكروبيوم المنطقة الجذرية، وتمثل بديلاً حيويًا واعدًا لدعم الزراعة المستدامة. فمن خلال تفاعلاتها المعقدة مع جذور النباتات، تسهم هذه الكائنات الحية الدقيقة النافعة في تحسين توافر العناصر الغذائية، وتحفيز نمو النباتات، وتعزيز قدرتها على تحمل الإجهادات الحيوية واللاحيوية.

تهدف هذه الدراسة البيبليوغرافية إلى تقديم مراجعة شاملة لأحدث المعارف العلمية المتعلقة بالبكتيريا المحفزة لنمو النباتات، مع التركيز على تنوعها، وآليات عملها، وتطبيقاتها في الإنتاج النباتي. وتتناول الدراسة خصائص منطقة الجذور، وآليات احتلال الجذور، والتفاعلات الجزيئية بين النبات والكائنات الدقيقة، ثم تستعرض أهم الآليات المسؤولة عن تحفيز نمو النباتات، بما في ذلك التثبيت الحيوي للنيتروجين، وإذابة الفوسفور، وإنتاج الهرمونات النباتية، ونشاط إنزيم ACC deaminase، وإنتاج السيدروفورات، وآليات المكافحة الحيوية، وتحفيز المقاومة الجهازية للنبات.

كما تُبرز هذه المراجعة تأثير العوامل البيئية والممارسات الزراعية في كفاءة البكتيريا المحفزة لنمو النباتات، إضافة إلى أحدث التطورات المتعلقة بتصنيعها واستعمالها كأسمدة حيوية ومحفزات حيوية، والاتجاهات الحديثة القائمة على تقنيات الأوميكس (Omics). وتؤكد المعطيات العلمية أن هذه البكتيريا تمثل أداة فعالة لتحسين إنتاجية المحاصيل، والمحافظة على خصوبة التربة، والحد من الاعتماد على المدخلات الكيميائية. ومع ذلك، فإن كفاءتها في الظروف الحقلية تبقى مرتبطة بالتفاعلات بين السلالات البكتيرية، والنبات المضيف، وخصائص التربة، مما يستدعي مواصلة الأبحاث لتطوير استراتيجيات أكثر فعالية لتطبيقها في النظم الزراعية الحديثة.

الكلمات المفتاحية: البكتيريا المحفزة لنمو النباتات (PGPR)، منطقة جذرية، الميكروبيوم، نمو النبات، الأسمدة الحيوية، المحفزات الحيوية، المكافحة الحيوية،