



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

Département : Productions végétales

القسم: الإنتاج النباتي

Spécialité : Ressources génétiques

التخصص: الموارد الوراثية و تحسين الانتاج النباتي

et amélioration des productions végétales

Mémoire De Fin D'études

Pour L'obtention Du Diplôme De Master

THEME

Évaluation des effets de bio-engrais à base de consortia microbiens sur la fertilité des sols et la croissance de l'orge et de la tomate.

Présenté par : **TEBBOUCHE Maria**

Soutenu publiquement le 24/09/2025

LARBES Lyna Maria

Devant le jury composé de :

Présidente :	Mme ABIDI Lila	(MCA - ENSA)
Promoteur :	M. RAHMOUNE Bilal	(MCA - ENSA)
Examineur :	Mme KHENFOUS DJEBARI B.	(MCA - ENSA)
Invitée :	Mme KACI Khadidja	(ITCMI)

Table des matières

DÉDICACE

DÉDICACE

REMERCIEMENTS

Résumé

Table des matières	i
Liste des tableaux	xiii
Liste des annexes.....	xiv
Liste des abréviations	xviii
Introduction	1

Synthèse bibliographique

Chapitre 1 : Microbiome végétal (Phytobiome) et PGPR

1. Définitions et généralités	5
1.1. Microbiote	5
1.2. Microbiome	5
1.3. Communautés microbiennes naturelles	6
2. Diversité des microbiomes selon les compartiments de la plante	6
2.1. Microbiome rhizosphérique.....	6
2.2. Microbiome phyllosphérique.....	7
2.3. Microbiome endosphérique	8
3. Effet de l'hôte sur la composition du microbiome végétal.....	8
4. Rhizobactéries promotrices de croissance des plantes « PGPR »	9
4.1. Définitions et généralités	9
4.2. Biodiversité des PGPR	9
4.2.1. <i>Bacillus</i>	10
4.2.2. <i>Pseudomonas</i>	10
4.2.3. <i>Azospirillum</i>	11
4.2.4. <i>Rhizobium</i>	11
4.2.5. <i>Azotobacter</i>	11
4.3. Interactions des PGPR dans la rhizosphère	12
4.3.1. Interaction bactérie-bactérie	12
4.3.2. Interaction bactérie-plante	12
4.3.3. Interaction bactérie-plante-environnement.....	13

4.4.	Mécanismes d'action des PGPR	14
4.5.	Rôle potentiel et importance des PGPR dans l'agriculture	22
4.5.1.	Effet sur la croissance et le rendement des plantes	22
4.5.2.	Effet sur l'acquisition des nutriments.....	22
4.5.3.	Bioremédiation	23
4.5.4.	Biocontrôle	23
4.6.	Enjeux de l'utilisation des PGPR	23

Chapitre 2 : Ingénierie du microbiome

1.	Introduction à l'ingénierie du microbiome.....	26
2.	Principes fondamentaux du microbiome et de son rôle fonctionnel	26
3.	Ingénierie du microbiome végétal	27
4.	Technique de manipulation et de l'ingénierie microbienne végétal-sol.....	27
4.1.	Création de consortiums microbiens synthétiques	28
4.2.	Reproduction et transplantation du microbiome	28
4.4.	Amendement du sol.....	29
4.5.	Utilisation de biofertilisants microbiens.....	29
4.6.	Edition génétique du microbiome	29
5.	Méthodologie d'analyse du microbiome	30
5.1.	Métagénomique	30
5.2.	Méatranscriptomique.....	31
5.3.	Métabolomique.....	31
5.4.	Protéomique.....	31
6.	Approches bioinformatiques pour l'ingénierie du microbiome	32
7.	Modélisation et conception rationnelle des communautés microbiennes	33
8.	Défis et perspectives.....	33

Chapitre 3 : Engrais et bioengrais à base de PGPR

1.	Limite des engrais chimiques et conséquences environnementales	36
2.	Bioengrais microbien : rôles dans l'agriculture durable.....	36
3.	Développement et formulation de bioengrais à base de PGPR.....	37
3.1.	Processus de formulation.....	37
3.2.	Formulation en monoculture et en consortium de bactéries PGPR.....	38
3.3.	Formulations liquides	39
3.4.	Formulations solides.....	39

3.5.	Formulations granulaires	39
3.6.	Formulations piégées dans des polymères (encapsulées).....	39
4.	Encapsulation et microencapsulation	39
4.1.	Techniques de microencapsulation des formules PGPR	40
4.1.1.	Technique d'extrusion	40
4.1.2.	Technique d'émulsion	41
4.1.3.	Technique de séchage par lyophilisation.....	41
5.	Importance de l'encapsulation des PGPR	41

Chapitre 4 : Généralités sur la tomate (*Solanum lycopersicum* L.)

1.	Origine et domestication.....	43
2.	Caractéristiques botaniques et développement.....	43
2.1.	Classification de la tomate.....	43
2.1.1.	Classification botanique	43
2.1.2.	Classification génétique.....	43
2.2.	Description morphologique	44
2.3.	Cycle de développement.....	44
2.3.1.	Période végétative	45
2.3.2.	Période reproductrice.....	45
3.	Exigences de la tomate	45
4.	Importance économique et situation de la culture	46
4.1.	Production mondiale.....	46
4.2.	Situation en Algérie	46
5.	L'impact du stress salin sur la plante	46
5.1.	Stress salin	46
5.2.	Effet du stress salin sur la croissance, le développement et le rendement chez la tomate.....	46

Chapitre 5 : Généralités sur l'orge (*Hordeum vulgare* L.)

1.	Origine et domestication de l'orge	49
2.	Caractéristiques botaniques	49
2.1.	Taxonomie et classification botanique	49
2.2.	Description botanique.....	49
3.	Production mondiale et place en Algérie.....	50
4.	Importance en agriculture durable.....	50
5.	Importance économique de l'orge	50

5.2.	Alimentation animale	51
------	----------------------------	----

Matériels et Méthodes

I.	Objectif du travail.....	53
II.	Essai tomate.....	53
1.	Site expérimental	53
2.	Matériel biologique utilisé.....	54
2.1.	Matériel bactérien	54
2.2.	Matériel végétal	54
2.3.	Sol agricole	54
3.	Dispositif expérimental	55
4.	Méthodes utilisées	56
Partie 1 : Développement et élaboration des formules de bioengrais.....		56
1.	Préparation des milieux de culture	56
2.	Multiplication des souches bactériennes	56
2.1.	Ensemencement sur milieu solide	56
2.2.	Ensemencement en milieu liquide.....	57
3.	Formulation de bioengrais.....	57
4.	Microencapsulation de bioengrais.....	58
Partie 2: Evaluation du potentiel de bioengrais développés.....		59
1.	Conduite de l'essai	59
1.1.	Préparation et désinfection du sol.....	59
1.2.	Repiquage des plants et apport de bioengrais.....	59
1.3.	Conduite de l'irrigation	61
1.4.	Entretien et suivi de l'essai.....	61
1.4.1.	Opérations culturales d'entretien.....	61
1.4.2.	Protection phytosanitaire	61
2.	Paramètres étudiés	62
2.1.	Paramètres morphologiques	62
2.1.1.	Hauteur de la plante.....	62
2.1.2.	Diamètre de la tige en dessous du premier bouquet.....	62
2.1.3.	Poids frais aérien	63
2.1.4.	Poids sec aérien	63
2.1.5.	Poids frais racinaire	63

2.1.6. Poids sec racinaire	64
2.2. Paramètres biochimiques et physiologiques.....	64
2.2.1. Teneur relative en eau	64
2.2.2. Stabilité membranaire cellulaire.....	65
2.2.3. Dosage de la proline	65
2.2.4. Dosage des sucres solubles.....	66
2.2.5. Teneur en chlorophylle totale.....	67
2.3. Paramètres agronomiques.....	68
2.3.1. Nombre de fruits.....	68
2.3.2. Poids total des fruits	68
2.3.3. Diamètre moyen du fruit	68
2.4. Paramètres édaphiques	68
2.4.1. Teneur en azote totale du sol.....	68
2.4.2. Teneur en phosphore assimilable (P ₂ O ₅) du sol.....	70
2.4.3. Teneur en carbone organique du sol.....	70
III. Essai orge.....	72
1. Site expérimental	72
2. Matériel biologique utilisé.....	73
2.1. Matériel bactérien.....	73
2.2. Matériel végétal	73
2.3. Sol agricole.....	73
3. Dispositif expérimental	74
4. Méthodes utilisées	75
Partie 1: Développement et élaboration des formules de bioengrais.....	75
Partie 2: Evaluation du potentiel de bioengrais développés.....	75
1. Conduite de l'essai	75
1.1. Préparation et désinfection du substrat.....	75
1.2. Test de germination	76
1.3. Préparation des suspensions et consortiums bactériens.....	76
1.5. Semis des graines et apport de bioengrais	77
1.6. Entretien et suivi.....	78
1.6.1. Éclaircissage des plants	78
1.6.2. Protection phytosanitaire	78

2.	Paramètres étudiés	79
2.1.	Paramètres morphologiques	79
2.1.1.	Hauteur de la plante.....	79
2.1.2.	Nombre de feuilles	79
2.1.3.	Longueur racinaire.....	79
2.1.4.	Nombre de ramifications racinaires.....	80
2.1.5.	Poids de la partie aérienne et racinaire	80
2.2.	Paramètres biochimiques et physiologique	80
2.2.1.	Teneur en chlorophylle totale.....	80
2.3.	Paramètres édaphiques	81
IV.	Analyses statistiques des données	81
	Résultats et Discussion.....	82
I.	Résultats et interprétation	83
1.	Essai tomate.....	83
1.1.	Paramètres morphologiques	83
1.1.1.	Hauteur de la plante (HP).....	83
1.1.3.	Poids frais aérien (PFA)	86
1.1.4.	Poids sec aérien (PSA)	87
1.1.5.	Poids frais racinaire (PFR)	88
1.1.6.	Poids sec racinaire (PSR)	89
1.2.	Paramètres biochimiques et physiologiques.....	90
1.2.1.	Teneur relative en eau (TRE)	90
1.2.2.	Stabilité membranaire (SM)	91
1.2.3.	Teneur en sucres solubles (SS).....	92
1.2.4.	Teneur en proline (PRO)	93
1.2.5.	Teneur en chlorophylle totale (CHT)	94
1.3.	Paramètres agronomiques.....	95
1.3.1.	Nombre de fruits (NbrF).....	95
1.3.2.	Poids total des fruits (PTF).....	96
1.4.	Paramètres Edaphiques.....	97
1.4.1.	Teneur en Azote total du sol (N)	97
1.4.2.	Teneur en Phosphore assimilable du sol (P).....	98
1.4.3.	Teneur en carbone organique du sol (C)	99

1.5.	Résultats de l'analyse en composantes principales (ACP).....	100
1.5.1.	Interprétation des axes principaux.....	100
1.5.3.	Effet du stress salin.....	101
1.5.4.	Effet du sol	101
2.	Essai orge.....	103
2.1.	Paramètres morphologiques	103
2.1.1.	Hauteur de la plante (HP).....	103
2.1.2.	Longueur racinaire (LR).....	104
2.1.3.	Nombres de ramifications racinaires	105
2.1.4.	Nombres de feuilles.....	106
2.1.5.	Poids frais aérien (PFA)	107
2.1.6.	Poids sec aérien (PSA)	108
2.1.7.	Poids frais racinaire (PFR)	109
2.1.8.	Poids sec racinaire (PSR)	110
2.2.	Teneur en chlorophylle totale (CHT)	111
2.3.	Paramètres édaphiques	112
2.3.1.	Teneur en azote total du sol (N)	112
2.3.2.	Teneur en Phosphore assimilable du sol (P).....	113
2.3.3.	Teneur en carbone organique du sol (C)	114
II.	Discussion	115
1.	Essai tomate.....	115
1.1.	Paramètres morphologiques	115
1.2.	Paramètres biochimiques et physiologiques.....	116
1.3.	Paramètres agronomiques.....	118
1.4.	Paramètres édaphiques	119
2.	Essai orge.....	120
2.1.	Paramètres morphologiques	120
2.2.	Paramètres biochimiques et physiologiques.....	121
2.3.	Paramètres édaphiques	122
	Conclusion	124
	Références bibliographiques.....	127
	Annexes.....	159