REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université 20 Août 1955 Skikda

Faculté des Sciences

Département des Sciences Agronomiques

Filière : Sciences Agronomiques

Option : Amélioration des plantes

Mémoire de fin d'études :

En vue de l'obtention du diplôme de Master II en Amélioration des plantes

Thème :

Effet de l'application d'une biofertilisant améliorés sur le rendement et les paramètres physiologique de la lentille (*Lens culinaris* Medik.) et le pois et de petit pois(*Pisum sativum* L.).

Présenté le :

➢ **ASSES Feriel**

➢ **LALAIMIA Chourouk**

➢ **CHIDOUH Samira**

➢**BOUCHARKA Ahlem**

Membre de Jury :

Mme : Souilah Nabila	MCA	**Présidente**	Université du 20 Août 1955 – Skikda
Mme : Bounouara Zohra	MCA	**Examinatrice**	Université du 20 Août 1955 – Skikda
Mme :Larit Sabah	MCA	**Promotrice**	Université du 20 Août 1955 – Skikda

Année Universitaire : 2025 – 2026


بسم الله الرحمن الرحيم



﴿وَآخِرُ دَعْوَاهُمْ أَنِ الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ﴾

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, nous tenons avant tout à remercier Allah le Tout-Puissant pour nous avoir accordé la force, la persévérance et la patience nécessaires afin de mener à bien ce projet.

Nous exprimons notre profonde reconnaissance à notre encadrante, ***Mme LARIT Sabah****, pour son accompagnement, ses conseils avisés, sa disponibilité et l'intérêt constant qu'elle a porté à notre travail tout au long de sa réalisation.*

Nous adressons nos sincères remerciements à ***Mme SOUILAH Nabila*** *pour l'honneur qu'elle nous fait en acceptant de présider le jury de soutenance et pour l'attention accordée à notre mémoire.*

Nous remercions également ***Mme BOUNOUARA Zohra*** *d'avoir accepté d'examiner ce travail et pour ses remarques pertinentes ainsi que ses recommandations enrichissantes.*

Nos remerciements s'étendent à l'ensemble des enseignants et du personnel administratif et technique du Département d'Agronomie de l'Université de Skikda pour la qualité de leur enseignement et leur soutien durant notre parcours universitaire.

Enfin, nous exprimons notre gratitude à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à l'aboutissement de ce mémoire

Dédécas

Louange à Allah, par la grâce duquel les bonnes œuvres s'accomplissent et les objectifs se réalisent. À Lui reviennent les louanges, au commencement comme à la fin.

Je dédie le fruit de ce modeste travail à ceux qui ont été la raison de mon existence et la source de ma réussite, à ceux qui m'ont entourée de leur amour et de leur bienveillance, et qui ont ancré en moi les valeurs de la patience, de la persévérance et du dévouement : mon cher père et ma chère mère. Qu'Allah les préserve, leur accorde une longue vie et les récompense généreusement, car aucun mot ne saurait exprimer toute ma gratitude envers eux.

À mes chers frères : Ossama, Ayoub, Islam, Iyad et Akram, qui ont toujours été pour moi un soutien précieux et un appui constant tout au long de mon parcours. Qu'Allah fasse perdurer entre nous l'affection, l'union et la fraternité.

À mes amies de toujours et compagnes de route : Asila, Anfal, Ikram, Lyne, Roumiassa et Taqwa, merci pour votre sincérité, votre présence, vos encouragements et tous les beaux moments partagés qui ont contribué à ma motivation et à ma réussite.

Je dédie également ce travail à mes camarades et amies qui ont partagé avec moi cette aventure scientifique, les efforts de recherche ainsi que la satisfaction de l'accomplissement. Je leur exprime toute ma reconnaissance et mon estime.

Enfin, je dédie ce travail à tout étudiant en quête de savoir, qui fait de la connaissance une noble mission et de l'effort un chemin vers le progrès et le service de la société.

Je prie Allah le Très-Haut d'accepter ce travail, de le rendre utile et bénéfique, et de récompenser généreusement toutes les personnes qui m'ont soutenue, de près ou de loin, par leurs conseils, leurs encouragements ou leurs prières.

Et ma réussite ne dépend que d'Allah ; en Lui je place ma confiance et vers Lui je retourne

Chourouk ✿

Dédicace



﴿ربِّ أَوْزِعْنِي أَنْ أَشْكُرَ نِعْمَتَكَ الَّتِي أَنْعَمْتَ عَلَيّ وَعَلَى وَالِدَيَّ وَأَنْ أَعْمَلَ صَالِحًا تَرْضَاهُ﴾

الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات، وبفضله تتحقق الأمنيات، له الحمد أولاً وآخراً، وظاهراً وباطناً

والصلا والسلام على سيدنا محمد ﷺ خير البري

إلى من كانا سرَّ العطاء ومصدرَ الدعاء، إلى والديّ الكريمين، اللذين غرسا في نفسي حبَّ العلم والاجتهاد، وكانا خير سندٍ في مسيرتي، حفظهما الله وأدامهما نعم لا تزول

إلى زوجي العزيز، الذي كان سنداً وعوناً لي في مشواري، فكان حضوره مصدر طمأنين، وتشجيعه دافعاً للاستمرار حتى إتمام هذا العمل

إلى أخي الوحيد، الذي فرّقت بيننا المسافات وجمعتنا المحب والدعوات، إلى من لم تُنقص الغرب من مكانته في قلبي شيئاً، أسأل الله أن يحفظه ويوفقه ويجمعنا به على خير

إلى أختَيَّ الغاليتين، اللتين كانتا خير رفيقتين في درب الحيا، أدام الله بيننا المود والمحب، وجزاهما عني خير الجزاء

إلى صديقاتي العزيزات، رفيقات الدرب والدراس، اللواتي شاركنني لحظات الجد والتعب والفرح، وكان لوجودهن

أثر جميل في مسيرتي الجامعي، أسأل الله أن يديم بيننا المحب وأن يوفقهن في حياتهن

العلمي والعملي

إلى أساتذتي الأفاضل، الذين أناروا درب العلم والمعرف، وكان لهم الفضل بعد الله فيما وصلت إليه

إلى كل من قدّم لي يد العون، أو أحاطني بدعو صادق، أو كلم طيب كانت سبباً في مواصل

الطريق

أهدي هذا العمل المتواضع، راجي من الله عز وجل أن يجعله خالصاً لوجهه الكريم، وأن ينفع به، وأن يبارك لي ولمن أحب في الدنيا والآخر

✿ فرال ✿

Sama design
Sama design

Dédicace

À la mémoire de mon cher père, qu'Allah lui fasse miséricorde et l'accueille dans Son vaste Paradis. Son amour, ses conseils et son souvenir demeureront à jamais une source de force et d'inspiration dans ma vie.

À ma très chère mère, pour son amour inconditionnel, ses sacrifices innombrables, sa patience et son soutien constant. Aucun mot ne saurait exprimer ma profonde gratitude envers elle.

À mes chers frères et sœurs, pour leur affection, leur présence et leur encouragement tout au long de mon parcours.

À moi-même, pour les efforts fournis, les défis surmontés et la persévérance qui m'ont permis d'atteindre cette étape importante.

À ma chère amie Chehinaz, pour son amitié sincère, son soutien moral et ses précieux encouragements.

samira

Dédicace



Au début, *je rends grâce à Dieu* pour ses nombreuses bénédictions et ses largesses, une louange qui convient à la majesté de Son visage et à la grandeur de Son pouvoir, sans lequel nous n'aurions pas atteint ces bienfaits.

Ensuite, j'adresse ma profonde gratitude et mon affection à ceux qui m'ont soutenu depuis mon enfance, mes chers parents. Je leur dis : je suis ici grâce à vos prières, que Dieu vous bénisse et vous garde.

Je souhaite également adresser un message d'amour à mes frères et sœurs, en disant : que Dieu vous protège. Je pense particulièrement à mon fiancé, et je lui dis : que Dieu le bénisse pour son soutien.

Je n'oublie pas mes chères amies, à qui j'envoie tout mon amour et mon respect.

Enfin, j'adresse un salut à mes grands-mères et je dis : que Dieu vous fasse miséricorde et vous pardonne.

Ahlem

RESUME EN FRANÇAIS

Titre : Effet de l'application d'un biofertilisant amélioré sur le rendement et les paramètres physiologiques de la lentille et de petit pois

Résumé :

Cette étude s'inscrit dans le cadre de la valorisation et du développement des techniques de fertilisation durable, comme alternative biologique dans les systèmes de production des légumineuses à graines. L'objectif était d'évaluer l'impact d'un biofertilisant organique solide amélioré, combiné à une application complémentaire de jus de compost, sur la croissance, le statut hydrique et la productivité de deux légumineuses : le petit pois (*Pisum sativum L.*) et la lentille (*Lens culinaris Medik.*). L'expérimentation a été conduite en pots à l'Université de Skikda (2025-2026) en appliquant trois doses croissantes du biofertilisant : un témoin (T_0 = 0 g), un traitement modéré (T_1 = 20 g) et un traitement maximal à dose élevée (T_2 = 60 g).

Les résultats de l'analyse de la variance (ANOVA) sur la plante ont montré des réponses morpho-physiologiques, hydriques et productives hautement significatives. Le traitement modéré (T_1) a stimulé de manière optimale le développement végétatif en améliorant la hauteur de la tige (avec des gains de +60,61% chez le petit pois et +36,25% chez la lentille) et en maintenant une Teneur Relative en Eau (TRE %) idéale au sein des tissus foliaires, grâce à l'effet réservoir du biochar. Sur le plan de la productivité, la dose modérée (T_1) a également maximisé les composantes du rendement numérique (nombre de gousses et de graines). En revanche, le traitement maximal (T_2) a provoqué une baisse drastique et un effet inhibiteur marqué sur le rendement final. Ce comportement de saturation s'explique par une accumulation supra-optimale de sels solubles et d'acides organiques dans la rhizosphère, provoquant un stress osmotique et le blocage de la translocation des photosynthétats vers les puits de reproduction, ce qui a conduit à l'avortement d'une proportion importante de fleurs et de jeunes gousses chez les deux espèces étudiées. Enfin, cette étude confirme l'efficacité de ce programme intégré pour stimuler la phase végétative, tout en soulignant la nécessité d'un ajustement rigoureux des doses afin d'éviter les seuils de phytotoxicité en milieu confiné.

Mots-clés : Lentille (*Lens culinaris*Medik), Petit pois (*Pisum sativum*), Biofertilisant, Jus de compost, Croissance, Rendement

RESUME EN ANGLAIS

Title: Effect of the application of an enhanced biofertilizer on the yield and physiological parameters of lentil and petit pois

Abstract:

This study is part of the valorization and development of sustainable fertilization techniques, as a biological alternative in grain legume production systems. The objective was to evaluate the impact of an enhanced solid organic biofertilizer, combined with a complementary application of compost juice, on the growth, water status, and productivity of two legumes: petit pois (*Pisum sativum L.*) and lentil (*Lens culinaris Medik.*). The experiment was conducted in pots at the University of Skikda (2025-2026) by applying three increasing doses of the biofertilizer: a control (T_0 = 0 g), a moderate treatment (T_1 = 20 g), and a maximal treatment at a high dose (T_2 = 60 g).

The results of the analysis of variance (ANOVA) on the plant showed highly significant morpho-physiological, hydric, and productive responses. The moderate treatment (T_1) optimally stimulated vegetative development by improving stem height (with gains of +60.61% in petit pois and +36.25% in lentil) and maintaining an ideal Relative Water Content (RWC %) within the leaf tissues, thanks to the water-reservoir effect of biochar. In terms of productivity, the moderate dose (T_1) also maximized the numerical yield components (number of pods and seeds). In contrast, the maximal treatment (T_2) caused a drastic decrease and a marked inhibitory effect on the final yield. This saturation behavior is explained by a supra-optimal accumulation of soluble salts and organic acids in the rhizosphere, inducing osmotic stress and blocking the translocation of photosynthates toward the reproductive sinks, which led to the abortion of a significant proportion of flowers and young pods in both studied species. Finally, this study confirms the efficacy of this integrated program in stimulating the vegetative phase, while highlighting the necessity of a rigorous dose adjustment to avoid phytotoxicity thresholds in confined environments.

Keywords: Lentil (*Lens culinaris*), Petit pois (*Pisum sativum*), Biofertilizer, Compost juice, Growth, Yield.

RESUME EN ARABE

العنوان : تأثير تطبيق سماد حيوي مطور على المردود والخصائص الفسيولوجية لنباتي العدس والبازلاء

الملخص:

تندرج هذه الدراسة في إطار تثمين وتطوير تقنيات التسميد المستدام، كبديل حيوي في نظم زراعة البقوليات الغذائية. كان الهدف الرئيسي هو تقييم ومقارنة تأثير مخصب حيوي عضوي صلب مطور، مدمج مع تطبيق تكميلي لمخصب حيوي سائل (عصارة الكومبوست)، على تحفيز النمو، الحالة المائية، والإنتاجية لنوعين من البقوليات: بازلاء الحديقة (*Pisum sativum L.*)والعدس .(*Lens culinaris Medik.*) أُجريت التجربة في أصص بجامعة سكيكدة (2025-2026) بتطبيق ثلاث جرعات متصاعدة من المخصب الحيوي: شاهد ($T_0 = 0$ غ)، معاملة معتدلة20 = (T_1) ، ومعاملة قصوى 60 = (T_2) غ.

أظهرت نتائج تحليل التباين (ANOVA) على النبات استجابات مورفو-فسيولوجية، مائية وإنتاجية عالية المعنوية. حيث كشفت النتائج أن تطبيق برنامج التسميد الحيوي قد أحدث تغيرات ملحوظة تختلف باختلاف الجرعة المضافة؛ فقد حققت المعاملة المعتدلة (T_1) التأثير الحيوي والمورفولوجي الأمثل من خلال زيادة استطالة الساق (بنسبة +60.61% لدى البازلاء و+36.25% لدى العدس)، مع الحفاظ على محتوى نسبي مثالي من الماء (TRE %) داخل الأنسجة الورقية بفضل قدرة "البيوشار" على الاحتفاظ بالرطوبة والتعديل الأسموزي الذي استحثته عصارة الكومبوست. على مستوى الإنتاجية، ساهمت الجرعة المعتدلة (T_1) كذلك في تعظيم مكونات المردود العددي (عدد الغلافات والبذور). في المقابل، سجلت معالم المردود انخفاضاً حاداً وتأثيراً مثبطاً واضحاً تحت تأثير الجرعة القصوى .(T_2) ويُعزى سلوك التشبع هذا إلى التراكم المفرط (فوق المثالي) للأملاح الذائبة والأحماض العضوية في المحيط الجذري، مما أدى إلى حدوث إجهاد أسموزي وعرقلة انتقال نواتج التمثيل الضوئي نحو مصبات التكاثر، مسبباً إجهاض نسبة كبيرة من الأزهار والغلافات الفتية لدى كلا الصنفين. في النهاية، تؤكد هذه الدراسة كفاءة هذا البرنامج المتكامل لتحفيز الطور الخضري، مع التشديد على ضرورة الضبط الصارم للجرعات لتفادي عتبات التسمم النباتي والتشبع الأسموزي في الأوساط المغلقة.

الكلمات المفتاحية :العدس(*Lens culinaris*) ، البازلاء(*Pisum sativum*) ، سماد حيوي، عصارة الكومبوست، النمو، المردود.

Liste des tableaux

Tableaux	Titre	Page
Tableau 1	Composition chimique moyenne des graines de lentille	5
Tableau 2	Composition chimique moyenne des graines de petit pois	8
Tableau 3	Classification des biofertilisants selon leur fonction	17
Tableau 4	Principaux avantages agronomiques des biofertilisants	18
Tableau 5	Caractéristiques physico-chimiques et hydro-physiques du biofertilisant utilisé	20
Tableau 6	Modalités et méthodes d'application des traitements	21
Tableau 7	Propriétés physico-chimiques de la terre témoin (T0) avant traitement.	29
Tableau 8	Moyennes générales minimales et maximales des paramètres étudiés	30
Tableau 9	Valeurs de F et signification des effets principaux des facteurs étudiés (ANOVA).	31

Liste des figures

Figure	Titre	Page
Figure 1	Aspects morphologiques de la partie aérienne des deux espèces étudiées Barulina (1930)	**5**
Figure 2	Représentation comparative du cycle biologique des deux espèces étudiées Schwartz et Langham (2012)	**8**
Figure 3	Vue de la serre expérimentale (Photo personnelle)	**16**
Figure 4	Les grains de deux variétés testées (Photo personnelle)	**17**
Figure 5	Dispositif expérimental de l'essai de croissance en pots (Photo personnelle)	**19**
Figure 6	Pesée de biofertilisant solide appliqués aux pots (Photo personnelle)	**21**
Figure 7	Application du biofertilisant liquide (Photo personnelle)	**22**
Figure 8	Photo représentative du profil pédologique (Photo personnelle)	**23**
Figure 9	Mesure de la teneur en chlorophylle des feuilles à l'aide d'un chlorophyllomètre SPAD (Photo personnelle)	**25**
Figure 10	Pesée du papier calque utilisé pour l'estimation de la surface foliaire (Photo personnelle)	**26**
Figure 11	Étapes de détermination du poids frais, turgide et sec des feuilles (Photo personnelle)	**27**
Figure 12	Effet du biofertilisant sur la longueur de tige chez les deux variétés étudiées	**32**
Figure 13	Effet du biofertilisant sur la surface foliaire chez les deux variétés étudiées	**33**
Figure 14	Effet du biofertilisant sur la teneur en chlorophylle chez les deux variétés étudiées	**34**
Figure 15	Effet du biofertilisant sur la teneur en eau chez les deux variétés étudiées	**36**
Figure 16	Effet du biofertilisant sur le nombre de graines par pot chez les deux variétés étudiées	**37**
Figure 17	Effet du biofertilisant sur le nombre de graines par plante chez les deux variétés étudiées	**38**
Figure 18	Effet du biofertilisant sur le nombre de gousses par pot chez les deux variétés étudiées	**39**
Figure 19	Effet du biofertilisant sur le nombre de gousses par plantes chez les deux variété étudiée	**40**

Liste des Abréviations

Abréviation	Signification
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
NH3	Ammoniac
PH	Potentiel Hydrogène
SPAD	Soil Plant Analyses Développent
T0	Traitement témoin (0g)
T1	Traitement amendé par (20 g)
T2	Traitement amendé par (60 g)
USDA	United States Département of Agriculture
XLSTAT	Logiciel d'analyse et traitement statistique

Table des matières

Remerciement
Dédicace
Liste de tableaux
Liste de figures
Liste de photos

Sommaire

Introduction 1

Première Partie : Revue bibliographique

Chapitre I

1.origine et historique des espèce étudiées 4
1.1.la lentille (*lens culinaris*) 4
1.2. Le petit pois (*pisum sativum L*) 4
2.Classification botanique 5
3.Description morphologique 6
3.1. Le système racinaire 6
3.2. La partie Aérienne (tiges ; feuilles et fleurs) 6
3.3.les Gousses et les Graines 6
4. Cycle biologique et stades de développement 7
5.Exigence pédoclimatique 8
6.Importance Agronomique et Production 8
6.1. Production mondiale et Dynamique du Marché 8
6.2. Situation de la culture en Algérie 9

Chapitre II : la biofertilisants

1.Définition 10
2.Classification des biofertilisants 10
3. Composition chimique et biofertilisants 10
4. Types de biofertilisants 11
4.1. Les fumigène (fumier organique) 11
4.2. Le compost 12
4.3. Les engrais biologiques 12
4.4. Le biochar 13
5.Avantages des biofertilisants 13
6. Inconvénients des biofertilisants 13
7.Importance des biofertilisants 14

Deuxième partie : Etude expérimentale

Chapitre 1 : Matériel et Méthode

1.Objectif de l'essai 16
2.Prsentation de site de l'essai 16
3.Matériel végétal 17
3.1. Semences testées 17
3.2. Origine et caractéristique des variétés 17
4.Méthodes de l'étude 18

4.1. Dose de biofertilisants appliquées 18
4.2. Dispositifs expérimentale 18
5.Le mode de culture et condition de croissance 19
5.1. Origine ; préparation et procédé du biofertilisants 19
5.2. Caractéristique physico-chimique et hydro physique du biofertilisant 19
5.3. Préparation des pots et du substrat de culture 20
6.Paramétre études 22
6.1. Mesure sur le sol 22
6.1. Mesure sur le sol 25
7.Analyse des données 28

Chapitre II : Résultats et Discussion

1. Caractéristiques physico-chimiques initiales du sol témoin 29
2. Variations des paramètres étudiés 30
3. Analyse de la variance (ANOVA) 31
4. Effet des traitements sur les paramètres étudiés 31
4.1. Longueur de tige 32
4.2. Surface foliaire (SF 33
4.3. Teneur en chlorophylle (CHLO) 34
4.4. Teneur en eau (TE) 36
4.5. Nombre de graines par pot (NGR) 37
4.6. Nombre de graines par plante (NGRP) 38
4.7. Nombre de gousses par pot (NGO) 39
4.8. Nombre de gousses par plante (NGOP) 40
Conclusion 42
Référence 44

Introduction

Introduction Générale

Dans le bassin méditerranéen, la culture des légumineuses à graines occupe une place prépondérante au sein des systèmes agronomiques en raison de leurs multiples intérêts agro-écologiques, économiques et nutritionnels (**Farissi *et al.*, 2014**). Sur le plan édaphique, ces cultures possèdent la capacité remarquable d'établir une symbiose hautement spécifique avec les bactéries diazotrophes du sol de type *Rhizobium*, permettant la fixation biologique de l'azote atmosphérique (N_2) et l'amélioration durable du bilan azoté des sols (**Latrach *et al.*, 2014**). Ce processus naturel convertit l'azote gazeux sous une forme assimilable par l'hôte, représentant environ 12 % de l'azote disponible dans la biosphère (**Lodwig *et al.*, 2003**). L'apport annuel global issu de cette symbiose est estimé entre 110 et 210 kg d'azote par hectare (**Peoples *et al.*, 1995**). Par conséquent, l'intégration des légumineuses permet de s'affranchir des engrais chimiques de synthèse azotés, coûteux et sources de pollutions environnementales (**Zahran, 1999**).

Parmi ces phyto-ressources stratégiques, la lentille (*Lens culinaris* Medik.) et le petit pois (*Pisum sativum* L.) se distinguent par leur haute valeur biologique, étant particulièrement riches en protéines, en glucides complexes et en micronutriments indispensables à la sécurité alimentaire (**FAO, 2009 ; Kangfu, 2011**). À l'échelle mondiale, les dynamiques de production de ces deux cultures sont en constante évolution pour répondre aux exigences des régimes alimentaires (**FAO, 2024**). En Algérie, les légumineuses alimentaires couvrent environ 1,2 % de la Superficie Agricole Utile (SAU), les bassins de production majeurs de la lentille s'étendant sur les plaines semi-arides (Hautes Plaines sétifiennes, Tlemcen, et l'Ouest algérien) (**Kehal, 2019**), tandis que le petit pois est préférentiellement inféodé aux zones maraîchères subhumides et sahariennes irriguées (**Mouhoubi & Hamadou, 2020**). Néanmoins, les rendements nationaux moyens stagnent autour de 9 à 12 quintaux par hectare, un seuil insuffisant pour combler les besoins de consommation locale (**ITGC, 2018**). Ce déficit de productivité est tributaire de plusieurs contraintes biotiques (agents phytopathogènes et adventices) et de stress abiotiques sévères, dominés par le stress hydrique, les fluctuations thermiques et la dégradation de la structure physico-chimique des sols (**ITGC, 2018 ; Dsasi, 2015**).

Introduction générale

Pour optimiser l'expression du potentiel génétique de ces cultures et remédier aux carences minérales des sols, les pratiques agricoles intensives recourent massivement aux intrants chimiques (N, P, K). Bien que ces fertilisants augmentent à court terme les rendements, leur application irraisonnée perturbe l'homéostasie des agrosystèmes par la lixiviation des nitrates vers les nappes phréatiques, le compactage des sols et l'inhibition de la microflore tellurique utile (**Singh *et al.*, 2024**). Dans une optique de transition agroécologique, l'utilisation d'amendements organiques et de biostimulants microbiens s'avère une alternative éco-efficiente performante (**Aytenew & Bore, 2020**). C'est dans ce contexte que l'application de biofertilisants améliorés — combinant des matrices organiques enrichies et des consortiums microbiens bénéfiques (PGPR et champignons mycorhiziens) — suscite un intérêt majeur. Ces formulations agissent directement sur la solubilisation des éléments bloqués (comme le phosphore), l'architecture racinaire, la biosynthèse phytohormonale et l'efficience d'utilisation de l'eau, stimulant ainsi les fonctions physiologiques et métaboliques de la plante (**Shahzad *et al.*, 2021 ; Pradhan *et al.*, 2025**).

C'est précisément dans ce contexte scientifique et environnemental que s'inscrit notre travail de recherche, mené au sein des laboratoires de l'Université du 20 Août 1955 de Skikda. Ce travail pose une problématique centrale : dans quelle mesure l'application d'un biofertilisant amélioré, développé initialement dans le cadre d'un projet de startup, peut-elle optimiser la croissance, le comportement physiologique et la productivité du système de culture de la lentille (*Lens culinaris* Medik.) et du petit pois (*Pisum sativum* L.), et dans quelle mesure ses effets réels sur ces plantes varient-ils selon les différentes doses du biofertilisant appliqué dans le milieu d'accueil ?

Pour répondre à cette problématique, une expérimentation rigoureuse en pots sous serre a été mise en place, dont l'objectif principal est d'étudier l'« **Effet de l'application d'un biofertilisant amélioré sur le rendement et les paramètres physiologiques de la lentille (*Lens culinaris* Medik.) et de petit pois (*Pisum sativum* L.)** ». Plus spécifiquement, ce travail réalisé à l'Université de Skikda vise à évaluer et comparer l'impact de ce biofertilisant amélioré sur les cinétiques de croissance des plantes de lentille et de petit pois, d'analyser son influence sur les paramètres morpho-conformationnels (tels que la hauteur de la tige, la biomasse épigée et hypogée) et physiologiques (à l'exemple de la cinétique du contenu en eau des tissus et de l'indice de l'activité photosynthétique via le taux de chlorophylle), et enfin de déterminer l'effet de cette

formulation sur les composantes du rendement en grains en fonction des différents niveaux d'apport du biofertilisant.

Pour développer l'ensemble de ces points, notre document s'articule autour de deux parties fondamentales : d'une part, une synthèse bibliographique théorique structurée en deux chapitres traitant des généralités sur les espèces étudiées puis du rôle des biofertilisants, et d'autre part, une étude expérimentale pratique comprenant le volet matériel et méthodes ainsi que la présentation des résultats et discussion.

PREMIERE PARTIE :

REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I

1.Origine et Historique des Espèces Étudiées:

1.1. La Lentille (*Lens culinaris* Medik.)

Le genre *Lens* comprend six espèces de légumineuses annuelles, dont *Lens culinaris*. Considérée comme l'une des plus anciennes plantes comestibles, la lentille est probablement le premier légume à avoir été domestiqué par l'homme, cultivée depuis lors en alternance avec les céréales pour la consommation humaine. Durant l'Antiquité, elle constituait un moyen de survie essentiel pour les plus démunis en Égypte et s'intégrait régulièrement à l'alimentation des Grecs, des Juifs et des Romains en raison de sa richesse en protéines et en micronutriments. Bien que ses plus anciennes traces remontent à 11 000 ans av. J.-C. en Grèce et à 8 500 ans av. J.-C. en Syrie, la nature sauvage ou cultivée de ces premières plantes reste à clarifier, les graines n'étant formellement identifiées comme domestiques qu'à partir du cinquième millénaire av. J.-C.. Originaire du Proche-Orient et de l'Asie de l'Ouest, sa culture s'est propagée principalement en Turquie, en Inde, en Syrie, au Canada, aux États-Unis, ainsi qu'en Éthiopie et au Maroc. En Algérie, les variétés cultivées (telles que la Large Blonde Métropole et la Large Blonde du Chili) sont issues de mélanges locaux ou d'origines européennes, sélectionnées pour leur adaptation agroclimatique. De plus, la coexistence de la lentille blonde large avec des variétés vertes et de Puy a provoqué des hybridations naturelles, donnant naissance à la variété Large Verte d'Algérie qui a fait l'objet d'un travail de sélection et de perfectionnement **(Muehlbauer et Tullu, 1997 ; Grusak, 2009 ; Ullmann, 2005 ; Yunnus et Jackson, 1991 ; Vandenberg et Slinkard, 1990)**.

1.2. Le Petit Pois (*Pisum sativum* L.)

Le pois (*Pisum sativum* L.) est une plante agricole mondialement répandue et un excellent modèle d'étude en génétique et en physiologie en raison de son cycle biologique court et de la diversité de ses caractères morphologiques. Bien que ses ancêtres restent mal définis, plusieurs régions sont proposées comme centres d'origine, la FAO considérant l'Éthiopie et l'Asie occidentale comme des centres majeurs de diversité, avec des foyers secondaires en Asie du Sud et dans le bassin méditerranéen. Sa culture remonte à environ 8 000 ans dans la région du Croissant fertile, parallèlement aux céréales (blé, orge) et à d'autres légumineuses (vesce, lentille), comme le confirment des vestiges archéologiques de sites néolithiques s'étendant de la Grèce à l'Irak (datant de 7 500 à 5 000 ans av. J.-C.). Par la suite, sa culture s'est progressivement diffusée vers l'ouest en Europe centrale (vers 4000 av. J.-C.) puis en Europe

occidentale, et vers l'est en Inde (vers 2000 av. J.-C.) **(Cousin et Bannerot, 1992 ; Brink et Belay, 2006)**.





a) Plant de lentille (*Lens culinaris* Medik.) **b)** Plant de petit pois (*Pisum sativum* L.)

Figure 01 : Aspects morphologiques de la partie aérienne des deux espèces étudiées

2. Classification Botanique :

Le tableau suivant regroupe la classification taxonomique officielle des deux espèces étudiées selon les normes botaniques :

Tableau 01 : Classification taxonomique de la lentille (*Lens culinaris* Medik.) et du petit pois (*Pisum sativum* L.).

Rang Taxonomique	La Lentille	Le Petit Pois
Règne	Plantae	Plantae
Division	Magnoliophyta	Angiospermes (Magnoliophyta)
Classe	Magnoliopsida	Dicotylédones (Magnoliopsida)
Ordre	Fabales	Fabales
Famille	Fabaceae	Fabaceae (Légumineuses)
Genre	*Lens*	*Pisum*
Espèce	*Lens culinaris* Medik.	*Pisum sativum* L.

Source :(Brink et Belay, 2006 ; PROTA, 2012)

3. Description morphologique :

3.1. Le Système Racinaire

- **La Lentille :** Ce système est constitué d'une racine centrale pivotante et de racines secondaires qui optimisent l'exploitation de l'humidité et l'absorption des nutriments dans les sols arides. Ses racines latérales portent des nodosités formées par les bactéries fixatrices d'azote atmosphérique **(Gahoonia *et al.*, 2005)**.
- **Le Pois :** Son appareil souterrain est doté d'une racine pivotante relativement peu développée, accompagnée de nombreuses racines secondaires et tertiaires. Ces dernières portent des nodosités symbiotiques abondantes, concentrées principalement dans les 30 premiers centimètres du sol **(Yakoubi, 2013)**.

3.2. La Partie Aérienne (Tiges, Feuilles et Fleurs)

- **La Tige :** Celle de la lentille est délicate, à croissance illimitée, et ne dépasse généralement pas 45 cm **(Saskatchewan, 2000)**. En revanche, la tige du pois est herbacée, creuse, mince (30 à 150 cm) et manque de rigidité pour maintenir la plante dressée sans support **(Baillier et fils, 1984 ; Prioul et al., 2004 ; Lim, 2012 ; Ferdaous, 2015)**.
- **La Feuille :** Chez la lentille, les feuilles sont pennées avec jusqu'à 10 paires de folioles fines se terminant par des vrilles **(Saskatchewan, 2000)**. Chez le pois, elles sont alternes, composées et varient selon le cultivar : le type "normal" (larges stipules, 2 à 3 paires de folioles et des vrilles) ou le type "semi-aphylle" (folioles entièrement transformées en vrilles), avec deux grandes stipules maculées de blanc à la base **(Prioul et al., 2004 ; Loridon et al., 2002)**.
- **La Fleur :** Les fleurs de la lentille sont petites, produites par paires, et de couleur blanche marbrée de violet **(Vandenberg et Slinkard, 1990 ; Saskatchewan, 2000)**. Celles du pois sont caractéristiques des Papilionacées (zygomorphes, hermaphrodites, pentamères), solitaires ou par deux, avec une corolle blanche ou rosée et 10 étamines (9 soudées et 1 libre) **(Lalumière *et al.*, 1996 ; Cousin, 1996 ; Xing *et al.*, 2005)**.

3.3. Les Gousses et Les Graines

- **La Lentille :** Chaque gousse, portée par un petit pédicelle, contient une à deux graines aplaties (2 à 9 mm de diamètre) dont la couleur du tégument varie du blanc au vert, gris, brun ou noir **(Barulina, 1930 ; Vandenberg et Slinkard, 1990)**.
- **Le Pois :** Le fruit est une gousse déhiscente (3,5 à 11 cm) contenant 2 à 5 graines globuleuses, exalbuminées, lisses ou ridées (5 à 8 mm de diamètre), de couleur variant du vert au jaune, crème ou brun **(Trébuchet *et al*., 1953 ; Nyabyenda, 2005 ; Lim, 2012)**.

4. Cycle Biologique et Stades de Développement

Le cycle biologique de la lentille varie généralement entre 80 et 130 jours (UMC, 2022), tandis que celui du pois oscille 60 et 150 jours selon les conditions climatiques et les variétés (INRAE). Les deux plantes partagent les mêmes étapes phénologiques suivantes :

- **La Germination** :

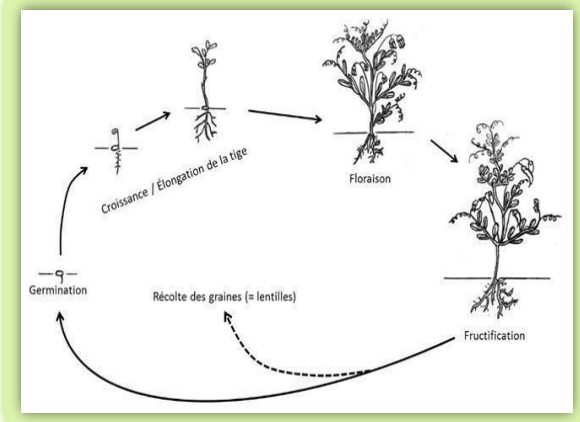
  De type hypogée pour les deux espèces, elle se caractérise par le maintien des cotylédons sous le sol. Ces derniers contiennent les réserves nutritives indispensables au développement initial de la plantule, sous l'influence directe de la température et de l'humidité (PROTA, 2012 UMC, 2022).

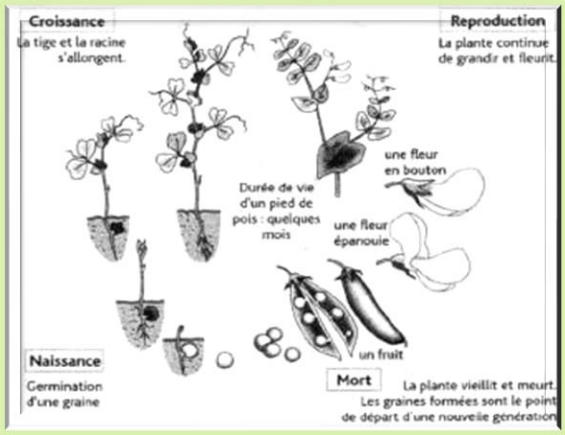
- **La Phase Végétative** :

Elle correspond à la croissance de la tige, au développement des feuilles et à la mise en place du système racinaire, s'étendant jusqu'à environ 6 semaines après le semis (UMC, 2022).

- **La Phase Reproductive** :

  Elle débute par la floraison (6^{e} à 7^{e} semaine après la levée) avec l'apparition des fleurs à l'aisselle des feuilles (PROTA, 2012). Elle se poursuit par la fructification (formation des gousses), le remplissage des graines, et enfin la maturation où la plante se dessèche progressivement jusqu'à la récolte (Begiga, 2006 ; PROTA, 2012 ; UMC, 2022).





Lentilles (Schwartz et Langham, 2012) **Petit pois (Anonyme 01, 2020)**

Figure 02 : Représentation comparative du cycle biologique des deux espèces étudiées

5.Exigences Pédoclimatiques

Le tableau ci-dessous regroupe l'ensemble des exigences pédoclimatiques des deux cultures étudiées :

Tableau 02 : Synthèse des exigences pédoclimatiques de la lentille et du petit pois.

Paramètres	Exigences de la Lentille (Lens culinaris)	Exigences du Petit Pois (Pisum sativum)
Besoins en eau	Tolère modérément la sécheresse (250-500 mm/an) ; très sensible à l'engorgement.	Préfère les sols frais ; redoute la sécheresse prolongée et l'excès d'eau stagnante.
Nature du sol	Sols légers, peu profonds, bien drainés ; pH optimal entre 6,0 et 8,0 (neutre à alcalin).	Sols légers, meubles et aérés (sablo-limoneux) ; éviter les sols argileux lourds ; pH neutre.
Température & Lumière	Germination : 10-30 °C. Tolère le froid en phase végétative ; sensible au gel et aux fortes chaleurs à la floraison.	Croissance optimale : 15-19 °C (germination : 13-18 °C). Tolère de légères gelées (-3 à -5 °C) ; exige une forte luminosité.

Source : (INRAE ; PROTA, 2012 ; UMC, 2022).

6. Importance Agronomique et Production

6.1. Production Mondiale et Dynamique du Marché : La production mondiale de lentilles atteint environ 3,8 millions de tonnes, dominée à 75 % par les lentilles roses et 20 % par les vertes. Le Canada s'impose comme le premier producteur et exportateur

mondial (près de 80 % des exportations globales), suivi par les États-Unis, l'Australie et la Turquie **(FAO ; Dynamique du Marché)**.

6.2. Situation de la Culture en Algérie : La culture des légumineuses (lentille, pois, pois chiche, fève) est stratégique pour atteindre l'autosuffisance et réduire les importations. Les principales zones de production se concentrent à Tiaret (reconnue pour la qualité de ses graines), Mila (premier producteur de l'Est), Souk Ahras et Tlemcen. Les superficies restent toutefois limitées avec un rendement moyen national d'environ 11 qx/ha **(MADR, 2016).** Outre l'alimentation humaine, le pois est exploité en Algérie comme culture fourragère (en vert ou en association : Pois-avoine, pois-triticale, pois-orge) pour le bétail, tandis que l'introduction du pois protéagineux demeure récente et limitée **(ITGC, 2014).**

Chapitre II

1.Definition

Les biofertilisants sont des formules qui renferment des cellules vivantes ou dormantes Des souches performantes de micro-organismes qui favorisent l'absorption des interactions dans la rhizosphère lorsqu'elles sont mises en œuvre par les nutriments. Graines ou terre. Ils favorisent certains processus microbiologiques dans le sol et Accroissent la disponibilité des nutriments sous des formes aisément absorbables par les Plantes. **(Merzoug et Kada, 2021).**

Les biofertilisants sont des formulations de micro-organismes qui sont appliquées au sol et aux des plantes pour substituer en tout ou en partie les fertilisants synthétiques et diminuer la Pollution produite par les produits agrochimiques **(Zuang, 1982).** Les micro-organismes Les biofertilisants emploient des organismes qui se classent en deux catégories :

Le premier groupe englobe les micro-organismes aptes à produire des Substances qui favorisent la croissance des plantes et fixent l'azote de l'atmosphère.

Dissoudre le fer et le phosphore inorganiques tout en renforçant la résistance au stress.

Provoqué par la sécheresse, la salinité, les métaux lourds et l'usage abusif de Pesticides.

Le deuxième groupe englobe les micro-organismes qui ont la capacité de diminuer ou d'empêcher les conséquences des micro-organismes pathogènes **(Faessel *et al*., 2015).**

2. Classification des biofertilisants :

Les biofertilisants sont catégorisés selon divers critères tels que leur origine et le type de Ressources utilisées pour leur fabrication, leur fonction, leur utilisation ou encore le Type d'effets observés. Les auteurs ne s'accordent pas sur un avis commun. **(Ikrina *et al*., 2004)** proposent une classification en neuf catégories, tandis que Torre et al. (2016) distinguent cinq catégories :

Les composés humiques, les dérivés d'algues, les hydrolysats de protéines et acides aminés, ainsi que les sels minéraux et les micro-organismes bénéfiques comme les bactéries et les fungi

3. Composition chimique des biofertilisants :

La composition chimique des biofertilisants appliqués aux légumineuses comme le pois (*Pisum sativum*) et la lentille (*Lens culinaris*) repose sur trois composantes principales :

Les micro-organismes actifs, les éléments nutritifs et les substances organiques bioactives.

Les biofertilisants contiennent des micro-organismes vivants tels que les bactéries fixatrices d'azote du genre Rhizobium, spécifiques aux légumineuses, qui établissent une symbiose avec les racines et permettent la transformation de l'azote atmosphérique en azote assimilable par la plante. (Food and Agriculture Organizations **(FAO, 2018).**

Ils renferment également des macroéléments essentiels comme l'azote (N), le phosphore (P) et le potassium (K), qui interviennent respectivement dans la croissance végétative, le développement racinaire et la résistance des plantes. (International Fertilizer Association **(IFA, 2019).**

Les biofertilisants contiennent aussi des microéléments (Fe, Zn, Mn, Cu) indispensables aux réactions enzymatiques et à la photosynthèse chez les légumineuses. (Food and Agriculture Organizations **(FAO, 2018).**

La fraction organique comprend des acides humiques et fulviques qui améliorent la structure du sol et facilitent l'absorption des nutriments par les racines. (International Fertilizer Association **(IFA, 2019).**

En outre, ces biofertilisants peuvent contenir des phytohormones naturelles (auxines, gibbérellines, cytokinines) produites par les micro-organismes, stimulant la croissance et le développement des plantes. (International Fertilizer Association **(IFA, 2019).**

Ils renferment également des enzymes et des vitamines qui favorisent l'activité biologique du sol et la minéralisation de la matière organique. **(Mémoire de Master, Université Ferhat Abbas Sétif 1, 2021.)**

4. Types de biofertilisants :

Dans le cas des cultures de légumineuses, les biofertilisants utilisés peuvent être d'origine organique ou microbienne et se présentent sous plusieurs formes.

4.1. Les fumigènes (fumier organique) :

Les fumigènes (fumier) sont des fertilisants organiques issus des déjections animales, souvent utilisés dans la culture du pois et de la lentille pour enrichir le sol.

Ils sont riches en matière organique et en éléments nutritifs (N, P, K), contribuant à améliorer la fertilité du sol et à favoriser la croissance des légumineuses. **(FAO, 2017).**

Le fumier améliore la structure du sol, augmente sa capacité de rétention en eau et stimule l'activité microbienne, essentielle pour la symbiose Rhizobium-légumineuses **(IFA, 2019).**

Cependant, sa composition dépend de l'origine animale et des conditions de stockage, ce qui peut influencer son efficacité agronomique.

4.2. Le compost :

Le compost est obtenu par la décomposition contrôlée de matières organiques (résidus végétaux, fumier), et il est largement utilisé dans les cultures de légumineuses.

Il contient de l'humus stable, des éléments nutritifs et une forte activité microbienne bénéfique pour le sol et les plantes. **(FAO, 2015).**

Le compost améliore la structure du sol, favorise l'aération, augmente la capacité de rétention d'eau et stimule le développement racinaire des plantes comme le pois et la lentille. (United Nations Environnement Programme **(UNEP, 2020).**

Il contribue également à la durabilité des systèmes agricoles en réduisant l'utilisation des engrais chimiques

4.3. Les engrais biologiques :

Les engrais biologiques regroupent principalement les biofertilisants microbiens utilisés spécifiquement pour les légumineuses.

Ils incluent des bactéries symbiotiques comme Rhizobium pour le pois et la lentille, capables de fixer l'azote atmosphérique au niveau des nodosités racinaires. **FAO, 2018).**

On trouve également des bactéries solubilisatrices de phosphore et des champignons mycorhiziens qui améliorent l'absorption des nutriments dans le sol. (International Fertilizer Association **(IFA, 2019).**

Ces engrais augmentent le rendement des cultures, améliorent la qualité des graines et renforcent la résistance des plantes aux stress abiotiques comme la sécheresse. (Food and Agriculture Organizations **(FAO, 2018).**

Ils représentent une alternative écologique durable aux engrais chimiques dans les systèmes agricoles basés sur les légumineuses.**(IFA, 2019).**

4.4. Le biochar : désigne un charbon végétal produit par la conversion thermochimique de la biomasse via un processus de pyrolyse réalisé en atmosphère pauvre en oxygène. Grâce à sa forte stabilité et à sa teneur élevée en carbone, il constitue un amendement prometteur pour l'amélioration de la fertilité des sols et la séquestration du carbone à long terme. **(Bera, 2024).**

5.Avantages des biofertilisants :

-Les biofertilisants améliorent la disponibilité des nutriments essentiels (azote, phosphore, potassium) en les solubilisant ou en les fixant, ce qui facilite leur absorption par les racines. Ils stimulent aussi la croissance des racines, la germination et la vigueur des plantes, et augmentent leur résistance au stress (sécheresse, salinité, températures extrêmes), ce qui améliore le rendement et la qualité des cultures. **(Vessey, 2003).**

-Pour le sol et l'environnement Les biofertilisants améliorent la structure du sol et augmentent sa fertilité en favorisant l'activité microbienne et la matière organique. Ils réduisent l'usage des engrais chimiques, limitent la pollution des sols et des eaux, et participent à une agriculture plus durable et respectueuse de la biodiversité. **(Richardson *et al.,* 2009). (Adesemoye& Kloepper,. 2009).**

- Avantages économiques : Les biofertilisants permettent de réduire les coûts de production en diminuant l'utilisation des engrais chimiques. Ils renforcent aussi l'autonomie des agriculteurs et favorisent des systèmes agricoles plus durables et moins dépendants des intrants externes. **(Singh *et al.* , 2011) (Malusá & Vassilev., 2014)**

6.Inconvénients des biofertilisants :

a. Santé du sol et nutrition :

Les biofertilisants enrichissent le sol en matière organique, augmentent la biodiversité microbienne et améliorent la disponibilité ainsi que l'absorption des nutriments essentiels comme l'azote et le phosphore par les plantes. **(Vessey, 2003). (Richardson *et al*.,2009).**

b. performance des cultures :

Ils stimulent le développement racinaire et la croissance des plantes, ce qui permet d'augmenter à la fois la quantité et la qualité des récoltes**.**

c. Durabilité environnementale :

Les biofertilisants réduisent la pollution des sols et des eaux causée par les engrais chimiques et améliorent la structure du sol, contribuant ainsi à une agriculture durable. **(Malusá& Vassilev.,2014).**

d. Résistance aux stress :

Ils renforcent la résistance des plantes aux stress abiotiques comme la sécheresse et améliorent leur tolérance aux agents pathogènes**. (Vessey, 2003) (Jha, 2012).**

e. Rentabilité économique :

Les biofertilisants sont souvent moins coûteux que les engrais chimiques et permettent de réduire les dépenses agricoles tout en maintenant des rendements satisfaisants. **(Singh *et al*, 2011).**

7. Importance des biofertilisants :

a. Sensibilité des micro-organismes :

Les biofertilisants sont constitués de micro-organismes vivants qui nécessitent des conditions de stockage spécifiques (température, humidité) et ont souvent une durée de conservation limitée. **(Malusá& Vassilev.,2014). (Vessey, 2003).**

b. Efficacité variable :

Leur efficacité dépend fortement des conditions du sol (pH, température, humidité). Dans des conditions extrêmes comme une forte chaleur ou un sol très sec, leur activité peut diminuer. **(Jha, 2012). (Richardson *et al*., 2009).**

c. action plus lente :

Contrairement aux engrais chimiques, les biofertilisants agissent progressivement en libérant les nutriments de manière lente, ce qui retarde l'apparition des effets visibles. **(Adesemoy et Klo epper, 2009). (Singh *et al*., 2011).**

d. Besoin en nutriments du sol :

Leur efficacité dépend aussi de la présence préalable de nutriments dans le sol, car les micro-organismes ont besoin d'un environnement riche pour se multiplier. **(Richardson *et al* ., 2009). (Vessey, 2003).**

e. Contamination possible :

Une mauvaise souche ou une contamination peut réduire fortement l'efficacité des biofertilisants et rendre leur action inefficace. **(Malusá et Vassilev.,2014).**

Deuxième Partie : Etude Expérimental

CHAPITRE 1 : Matériel et Méthode

1- Objectif de l'essai :

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer et de comparer la réponse de deux espèces de légumineuses à graines, à savoir la lentille (***Lens culinaris*** **Medik.**) et le pois (***Pisum sativum*** L.), à l'application de différents programmes de biofertilisation. L'expérimentation intègre un traitement témoin non traité ($T_0 = 0$ *g*), une dose modérée de biofertilisant organique solide ($T_1 = 20$ *g*) et une dose élevée ($T_2 = 60$ *g*), toutes combinées à une application complémentaire de biofertilisant liquide (jus de compost).

2.Présentation du site de l'essai :

L'étude a été réalisée au niveau du laboratoire et de la serre d'agronomie de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département d'Agronomie, Université 20 Août 1955 Skikda, durant l'année académique 2025-2026.

2-1 Caractéristique technique de la serre : La serre utilisée est de type chapelle et présente les caractéristiques techniques suivantes :

- Largeur : 6,66 m
- Longueur : 12,00 m
- Hauteur sous chéneaux : 2,80 m
- Hauteur au faîtage : 4,10 m
- Pente de la toiture cintrée : 42 %
- Surface totale : 82,00 m² ,Cette serre a permis la conduite des essais dans des conditions contrôlées.



Figure 03 : Vue de la serre expérimentale **(Photo personnelle)**.

3. Matériel végétal :

3.1. Semences testées

L'étude est portée sur deux espèces de légumineuses d'intérêt agronomique majeur : la lentille (*Lens culinaris* Medik.) et le pois (*Pisum sativum* L.). Les semences utilisées ont été sélectionnées pour leur viabilité et leur homogénéité afin d'assurer une levée régulière au sein de toutes les unité expérimentales.**(Figure 04)**



Figure 04: Les grains de deux variété testées **(Photo personnelle)**.

3.2. Origine et caractéristiques des variétés :

L'origine et les caractéristiques des variétés étudiées sont regroupées dans le **(Tableau 03)**.

Tableau 03 : Origine et caractéristiques agronomiques des variétés de légumineuses étudiées

Variété	Origine	Caractéristiques
V1 (Petit pois) Onward	France	* Variété de mi-saison à grains ridés. * Plante demi-naine, vigoureuse et productive (hauteur moyenne de 60 à 75 cm). * Gousses droites, larges, de couleur vert foncé, renfermant généralement 6 à 8 gros grains. * Très appréciée pour sa haute productivité, sa saveur sucrée et sa bonne tolérance relative aux conditions pédoclimatiques. Mouhoubi & Hamadou (2020)
V2 (Lentille) Firat 87	Turquie (Sélectionné par l'ICARDA / Centre de recherche d'Anatolie)	* Variété d'hiver à port dressé. * Graines de taille moyenne à tégument clair (vert-jaunâtre) et cotylédon rouge. * Tolérante au froid, à la sécheresse hivernale et à la verse. * Rendement élevé et bonne précocité à la floraison. Lakmes et al. (2021)

4. Méthodes d'étude

4.1. Doses de biofertilisant organique appliquées :

Trois traitements ont été appliqués au niveau des unités expérimentales :

- T0 : traitement témoin (sans biofertilisant organique)
- **T1 :** Application de 20 g de biofertilisant organique solide par pot, complétée par des applications périodiques de biofertilisant liquide (jus de compost).
- **T2 :** Application de 60 g de biofertilisant organique solide par pot, complétée également par les applications de biofertilisant liquide.

4.2. Dispositif expérimental :

L'expérimentation a été conduite sous serre durant 169 jours, du 14 décembre 2025 au 31 mai 2026. Le dispositif adopté est un dispositif en blocs complètement randomisés factoriel).

Trois répétitions ont été réalisées pour chaque traitement et pour les deux variétés étudiées, soit : 3 (Traitements) × 2 (Variétés) × 3 (Répétitions) = 18 unités expérimentales (pots).

Tableau 04 : La répartition des unités expérimentales et des répétitions dans les pots

Espèces	**V_1 : Pois (*Pisum sativum*)**			**V_2 : Lentille (*Lens culinaris*)**		
Traitements / Répétitions	**T_0**	**T_1**	**T_2**	**T_0**	**T_1**	T_2
R_1	$V_1N_0R_1$	$V_1N_1R_1$	$V_1N_2R_1$	$V_2N_0R_1$	$V_2N_1R_1$	**$V_2N_2R_1$**
R_2	$V_1N_0R_2$	$V_1N_1R_2$	$V_1N_2R_2$	$V_2N_0R_2$	$V_2N_1R_2$	**$V_2N_2R_2$**
R_3	**$V_1N_0R_3$**	**$V_1N_1R_3$**	**$V_1N_2R_3$**	**$V_2N_0R_3$**	**$V_2N_1R_3$**	**$V_2N_2R_3$**

- **R1, R2, R3:** Les trois répétitions.
- **T0 :** Traitement témoin (0 g/pot).
- **T1 :** Traitement à la dose de 1% (soit 20g/ pot) de biofertilisant organique solide **associé au biofertilisant liquide**.

- **T2 :** Traitement à la dose de 3% (soit 60 g/ pot) de biofertilisant organique solide **associé au biofertilisant liquide**.



Figure 05: Dispositif expérimental de l'essai de croissance en pots **(photo personnelle)**.

5.Le mode de culture et condition de croissance

5.1.Origine, préparation et procédé de fabrication du biofertilisant :

Le biofertilisant utilisé dans cette expérimentation (sous ses deux formes : solide et liquide) est un produit biologique issu d'un travail antérieur réalisé par **Touil et Bouhafer (2025)** dans le cadre d'un projet de mémoire Start-up à l'Université de Skikda.

Ce produit a été obtenu par compostage aérobique et vermicompostage d'un mélange optimisé de biomasse végétale (engrais verts et déchets agricoles secs), de déchets ménagers organiques, de fumier de bovins et de biochar de grignon d'olive. Dans le cadre de notre étude, ce fertilisant a été appliqué afin d'évaluer son arrière-effet et son efficacité agronomique sur deux variétés de légumineuses (pois et lentille).

5.2.Caractéristiques physico-chimiques et hydro-physiques du biofertilisant :

Les propriétés physico-chimiques, chimiques et hydro-structurales du biofertilisant solide, déterminées préalablement par **Touil et Bouhafer (2025)**, sont résumées dans le **Tableau 05**.

Tableau 05 : Caractéristiques physico-chimiques et hydro-physiques du biofertilisant utilisé.

Paramètres Analytiques	Valeurs (Produit Final)
Ph	7,99
Conductivité Électrique (CE) (mS/cm)	1,6
Matière Organique (MO) (%)	73 %
Carbone organique (C) (%)	36,5 %
Azote total (N) (%)	1,95 %
Rapport C/N	18,71
Anhydride phosphorique (P_2O_5) (%)	1,3 %
Oxyde de potassium (K_2O) (%)	1,9 %
Capacité d'Échange Cationique (CEC) (cmol/kg)	40
Capacité de rétention en eau (%)	92 %
Porosité (%)	67,2 %

5.3.Préparation des pots et du substrat de culture

L'expérimentation a été conduite dans des pots en plastique d'une capacité de 2 litres, présentant une hauteur de 11,5 cm, un diamètre supérieur de 14,5 cm et un diamètre inférieur de 9 cm. Afin d'assurer un drainage optimal et d'éviter l'asphyxie racinaire, le fond de chaque pot a été perforé, puis tapissé d'une couche de 300 g de gravier fin. Sur cette couche conductrice, un filet de plastique perforé a été déposé afin de retenir le sol tout en permettant le libre passage de l'eau résiduelle.

Le sol utilisé provient de la région d'El Hadaeik (Skikda). Il a été préalablement séché à l'air libre et soumis à un tamisage rigoureux afin d'éliminer les débris végétaux, animaux et grossiers graviers), ne conservant ainsi que la fraction de sol fin. Les pots ont été remplis de manière parfaitement homogène et au même niveau, à raison de 2 kg de sol fin par pot.

Pour les pots amendés, les doses correspondantes de biofertilisant solide (20 g pour T_1 et 60 g pour T_2) ont été pesées avec précision et incorporées de façon homogène dans la matrice terreuse avant le remplissage final.



Figure 06 : Pesée de biofertilisant solide appliqués aux pots (Photo personnelle).

- **Préparation des graines et semis**

Le semis a été effectué à raison de 8 grains par pot pour les deux espèces (petit pois et lentille). Afin de garantir une répartition spatiale parfaitement homogène et d'éviter l'entassement des graines ce qui pourrait introduire un facteur de compétition intra-spécifique indésirable au sein de l'étude, un patron en papier circulaire, d'une surface égale au diamètre du pot et perforé à intervalles réguliers et symétriques, a été utilisé comme guide de plantation.

- **Application du traitement liquide (Jus de compost)**

Au cours du cycle végétatif, aux stades physiologiques clés (croissance active et début floraison), le biofertilisant liquide (jus de compost) a été appliqué. Ce traitement a été administré par apport direct au sol (irrigation) combiné à une pulvérisation foliaire homogène, en utilisant une dose diluée à 50 ml par litre d'eau.(**Figre 07).**

Tableau 06 : Modalités et méthodes d'application des traitements.

Type de produit	Doses étudiées	Méthode et stades d'application
Biofertilisant solide (Compost)	T_1 : 1 % (10 g/kg de sol, soit 20 g/pot) T_2 : 3 % (30 g/kg de sol, soit 60 g/pot)	Incorporé et mélangé de manière homogène avec le sol avant le semis.
Biofertilisant liquide (Jus)	Dilution de 50 mL de jus concentré par litre d'eau	Irrigation au sol et pulvérisation foliaire aux stades physiologiques clés.



Figure 07: Application du biofertilisant liquide **(Photo personnelle)**.

6. Paramètres étudiés

6.1. Mesure sur le sol

❖ **Caractéristiques synthétiques du profil pédologique**

Le profil a été ouvert sur une parcelle agricole de l'Université de Skikda (ex-site d'arboriculture délaissé depuis 10 ans), située sur une terrasse alluviale de faible pente près de l'Oued Zeramna.

- **Classification :** *Cumulic Haploxeroll* (Mollisols) selon l'USDA, ce qui correspond à un sol peu évolué d'apport alluvial noirci-humifère selon la classification française CPCS.
- **Propriétés physiques :** C'est un sol profond, brun foncé et compact. Sa texture est limono-argileuse en surface (32 % d'argile) et devient argilo-limoneuse en profondeur (plus de 46 % d'argile). Cette richesse en argile assure une bonne rétention en eau, mais engendre un très mauvais drainage interne avec un risque d'asphyxie racinaire.
- **Propriétés chimiques :** Le sol est marqué par un faible taux d'azote et une faible teneur en carbone organique (0,88 % à 0,72 %) dont les fluctuations en profondeur traduisent le caractère alluvial. La CEC évolue d'une valeur faible en surface à moyenne en profondeur (12,8 à 17,5 $c\,mol^{+}/kg$).

Les analyses de ce sol ont été réalisées au niveau des laboratoires de l'Université du 20 Août 1955 de Skikda. Elles ont porté sur les propriétés physiques, chimiques et hydro-structurales initiales de la couche arable superficielle (**Horizon Ap : 0 – 25 cm**) afin de caractériser la matrice brute (Sol témoin T_0) avant tout apport de biofertilisant.

Ces analyses ont englobé plusieurs paramètres essentiels (granulométrie, pH, conductivité électrique, matière organique, carbone, azote total, densité, porosité, réserve utile et CEC). La morphologie globale de ce profil pédologique est présentée dans la (**Figure 08)**



Figure (08) : Photo représentative du profil.

❖ **Mesure du pH**

Le pH du sol représente son degré d'acidité ou d'alcalinité et varie généralement entre 1 et 14. Cette mesure donne également des indications sur la nature des roches ayant participé à la formation du sol. Le pH, ou potentiel hydrogène, correspond à un milieu acide lorsque les valeurs sont comprises entre 0 et 6,5, neutre à 7 et alcalin entre 7,5 et 14.

a. Matériel utilisé

Le matériel utilisé pour cette analyse comprend :

- Des échantillons de sol tamisés à 2 mm
- 10 g de sol pour chaque échantillon
- Un pH-mètre
- Des béchers de 50 ml
- Des baguettes en verre

- Une éprouvette graduée
- Un agitateur magnétique.

b. Mode opératoire

Dans un bécher de 50 ml, 10 g de terre fine ont été pesés avec une précision de 0,01 g, puis 25 ml d'eau déminéralisée ont été ajoutés. Le mélange a été agité pendant 10 minutes à l'aide d'un agitateur magnétique. La mesure du pH (H_2O) a ensuite été effectuée à l'aide du pH-mètre, en attendant la stabilisation des valeurs affichées avant de procéder à la lecture, les électrodes ne réagissant pas instantanément dans ce type de milieu.

❖ **Mesure de la conductivité électrique (CE)**

La détermination de la conductivité électrique a été réalisée suivant le même protocole expérimental utilisé pour la mesure du pH. La seule différence réside dans l'utilisation d'un conductimètre à la place du pH-mètre. Cette mesure permet d'évaluer le degré de salinité du sol.

❖ **Analyse de la matière organique**

La teneur en matière organique (MO) du sol a été déterminée par la méthode de la perte au feu. Cette méthode est généralement déconseillée pour les échantillons fortement calcaires. Son domaine d'étalonnage varie entre 1 et 50 % de matière organique.

• Mode opératoire

Pour cette analyse, les échantillons de sol ont été préalablement broyés puis tamisés à 2 mm. Le creuset vide a d'abord été pesé (M0), puis 10 g de sol séché y ont été ajoutés avant de noter le poids total obtenu. L'échantillon a ensuite été placé dans une étuve à 105 °C pendant 24 heures afin d'éliminer l'humidité. Après refroidissement dans un dessiccateur pendant environ 10 minutes, une nouvelle pesée a été effectuée (M1).

Par la suite, l'échantillon a été calciné dans un four à moufle à 250 °C pendant 4 heures. Après refroidissement dans le dessiccateur, le creuset contenant le sol calciné a été pesé (M2).

Une seconde calcination a ensuite été réalisée à 450 °C pendant 4 heures, suivie d'un refroidissement dans le dessiccateur et d'une dernière pesée du creuset (M3)

6.2. Mesure sur la plante :

• Teneur en chlorophylle

La teneur en chlorophylle des feuilles a été estimée à l'aide d'un chlorophyllomètre de type SPAD **(Figure 09)**.

Les mesures ont été réalisées sur trois feuilles de chaque pot, en effectuant trois lectures à différents endroits de chaque feuille afin d'obtenir une valeur représentative de la teneur en chlorophylle.



Figure 09 : Mesure de la teneur en chlorophylle des feuilles à l'aide d'un chlorophyllomètre SPAD (**Photo personnelle)**.

• Surface foliaire (cm²)

La surface foliaire (SF) a été déterminée selon une méthode consistant à reproduire le contour des feuilles sur du papier calque afin d'estimer leur surface.

Les feuilles ont d'abord été placées sur du papier calque, puis leurs contours ont été soigneusement tracés et découpés. Le poids du morceau de papier correspondant à la feuille (PF) a ensuite été mesuré à l'aide d'une balance de précision **(Figure 10)**.

Par ailleurs, un carré de référence de 1 cm² découpé à partir du même papier calque a également été pesé afin de déterminer le poids correspondant à une surface connue (PQ).

La surface foliaire (SF) a ensuite été calculée à l'aide de la formule suivante :

SF= (PF-SQ) / PQ



Figure 10 : Pesée du papier calque utilisé pour l'estimation de la surface foliaire (**Photo personnelle)**.

• Teneur en eau (TE %)

La teneur en eau des feuilles a été déterminée à partir de la mesure du poids frais, du poids turgide et du poids sec des échantillons foliaires.

Pour cette analyse, l'avant-dernière feuille de chaque plantule a été prélevée puis pesée directement le matin même afin de déterminer le poids frais (PF).

Par la suite, les échantillons ont été placés dans des tubes à essai contenant de l'eau distillée et maintenus pendant 24 heures afin d'obtenir le poids turgide (PT).

Après cette étape, les feuilles ont été enveloppées dans du papier aluminium puis placées dans un four à une température de 80 °C pendant 24 heures afin de déterminer le poids sec (PS). **(Figure 11)**

La teneur en eau (TE %) a ensuite été calculée à l'aide de la formule suivante :

$$TE\ (\%) = [PF\text{-}PS \div PT\text{-}PS] \times 100$$

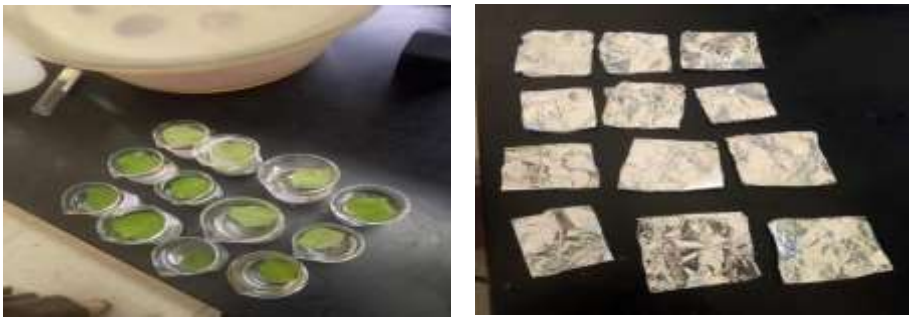


Figure11 :Étapes de détermination du poids frais, turgide et sec des feuilles (**Photo personnelle)**.

.**• La longueur de la tige**

Le hauteur des tiges pour les déférents variétés a été mesurée chaque semaine de la début de stade foliaire jusqu'a la maturation à laide d'un mètre ruban (cm) depuis le collet jusqu'au l'extrémité de la partie aérienne.

• Le nombre de gousses par pot :

Le nombre total de gousses a été déterminé par un comptage manuel direct de l'ensemble des gousses formées et récoltées dans chaque pot pour les deux espèces étudiées.

- **Le nombre de gousses par plante :**

Ce paramètre a été estimé en calculant le rapport entre le nombre total de gousses récoltées par pot et le nombre de plantes productives présentes dans ce même pot selon la formule suivante : **Nombre de gousses / plante = (Nombre total de gousses du pot) / (Nombre de plantes du pot"**

- **Le nombre de graines par pot :**

Après l'étape de décorticage manuel de toutes les gousses récoltées par unité expérimentale, les graines nettes obtenues ont été comptées manuellement pour chaque pot.

- **Le nombre de graines par plante :**

Le nombre moyen de graines par plante a été évalué pour chaque traitement en divisant le nombre total de graines obtenues dans le pot par le nombre de plantes correspondantes : **Nombre de graines / plante = (Nombre total de graines du pot) / (Nombre de plantes du pot**

7- Analyse des données :

Afin de pouvoir caractériser les différences qui existent entre les variétés étudiées concernant les différents paramètres mesurés, nous avons calculé certains paramètres statistiques à l'aide du logiciel d'analyse et traitement statistique des données **« XL STAT version 2014 »**

Chapitre II : Résultats et Discussion

Chapitre II : Résultats et Discussion :

1- Caractéristiques physico-chimiques initiales du sol témoin

Avant d'évaluer l'impact des différents programmes de biofertilisation sur la croissance et la productivité de la lentille (*Lens culinaris* Medik.) et du petit pois (*Pisum sativum* L.), il est indispensable de caractériser l'état initial du milieu pédologique d'origine.

Les résultats des analyses physiques et chimiques réalisées sur le sol témoin (T_0, sol naturel non traité) sont regroupés dans le **(Tableau 07)**

Tableau 07 : Propriétés physico-chimiques de la terre témoin (T_0) avant traitement.

	Valeurs mesurées
pH (eau)	6.61
Conductivité Électrique (CE) (μS/cm)	111.9
Matière Organique (MO %)	3.3
Carbone Organique (%)	1.88
Capacité de Rétention en Eau (%)	56
Densité Apparente (D_a g/cm³)	0.54

Les résultats analytiques du sol témoin (T_0) révèlent des propriétés agronomiques initiales favorables au développement des céréales :

- Le pH (6.61) : Proche de la neutralité à faiblement acide, ce niveau est considéré comme optimal pour l'activité microbienne. Selon Soltner (2005), un tel pH garantit une biodisponibilité maximale des éléments nutritifs majeurs (N, P, K) dans la solution du sol en évitant leur blocage chimique ou leur rétrogradation, ce qui est propice à la nutrition précoce du blé et de l'orge.
- La Conductivité Électrique (111.9 μS/cm) : Très faible, elle montre que le sol initial est totalement non salin. D'après la classification des sols de Richards (1954), une CE inférieure à 2000 μS/cm écarte tout risque de stress osmotique ou de toxicité ionique, assurant ainsi des conditions idéales lors de la phase sensible de la germination.

- La Matière Organique (3.3 %) et le Carbone (1.88 %) : Ces valeurs témoignent d'un statut organique moyen à satisfaisant pour un sol de culture. Calvet (2003) souligne que ce stock humique initial constitue non seulement un réservoir d'azote minéralisable, mais assure également la cohésion des agrégats et la stabilité structurale du sol face au compactage.
- Les propriétés physiques : La capacité de rétention en eau (56 %) indique une bonne aptitude à stocker l'humidité nécessaire pour la levée (Musy et Soutter, 1991). De plus, la faible densité apparente (0.54 g/cm³) reflète une porosité globale élevée qui, selon Gros (1979), favorise une excellente aération du substrat (faible résistance mécanique à la pénétration racinaire).

2.Variations des paramètres étudiés

Le tableau 08 montre que l'ensemble des paramètres étudiés présentent une variabilité importante entre les traitements et les variétés. Les écarts entre les valeurs minimales et maximales traduisent une réponse différente des deux variétés aux doses appliquées.

Tableau 8 : Moyennes générales minimales et maximales des paramètres étudiés

Paramètre	Moyenne	Min	Max	Écart
LT	46.39	30.00	59.16	29.16
SF	7.24	3.81	9.45	5.64
CHLO	33.03	15.40	45.40	30.00
TE	71.33	20.00	89.00	69.00
NGR	33.19	17.00	52.00	35.00
NGO	24.06	8.00	52.00	44.00
NGOP	7.78	2.00	16.00	14.00
NGRP	12.50	6.00	20.00	14.00

3. Analyse de la variance (ANOVA)

Tableau 9: Valeurs de F et signification des effets principaux des facteurs étudiés

Source de variation	ddl	LT	SF	CHLO	TE	NGR	NGO	NGOP
Variété	1	20,79***	20,30***	19,51***	9,53**	27,58***	273,99***	36,54***
Traitement	2	38,74***	42,66***	28,43***	2,93ns	51,79***	53,02***	6,91*
Variété × Traitement	2	6,65*	19,77***	4,99*	1,81ns	30,65***	30,67***	1,31ns
Erreur	12							

ns : non significatif ; * : p < 0,05 ; ** : p < 0,01 ; *** : p < 0,001.

L'analyse de la variance (Tableau 2) montre un effet hautement significatif de la variété sur la longueur de tige (LT), la surface foliaire (SF), la teneur en chlorophylle (CHLO), le nombre de graines par pot (NGR), le nombre de gousses par pot (NGO) et le nombre de gousses par plante (NGOP). La teneur en eau (TE) présente un effet significatif de la variété, alors que le nombre de graines par plante (NGRP) ne montre aucune différence significative**.(Annex)**

Le traitement exerce un effet hautement significatif sur LT, SF, CHLO, NGR et NGO, tandis qu'il est significatif pour NGOP et NGRP. En revanche, son effet sur la teneur en eau est non significatif. **.(Annex)**

L'interaction variété × traitement est significative pour LT et CHLO, hautement significative pour SF, NGR et NGO, alors qu'elle est non significative pour TE, NGOP et NGRP. **.(Annex)**

4.Effet des traitements sur les paramètres étudiés

Les résultats détaillés des différents paramètres étudiés sont présentés ci-après et illustrés par des figures, permettant de comparer l'effet des traitements sur les deux variétés.

4.1.Longueur de tige

La Figure 12 met en évidence une amélioration de la longueur de tige sous l'effet des traitements appliqués. Chez la variété V1 (petit pois), la longueur de tige est passée de 33,00 cm chez le témoin à 53,00 cm sous T1, soit une augmentation de +60,61 %. Sous T2, une valeur moyenne de 41,75 cm a été enregistrée, correspondant à une augmentation de +26,52 % par rapport au témoin. Chez la variété V2 (lentille), les valeurs moyennes sont passées de 39,48 cm chez T0 à 53,79 cm sous T1 (+36,25 %) et à 57,33 cm sous T2 (+45,21 %).

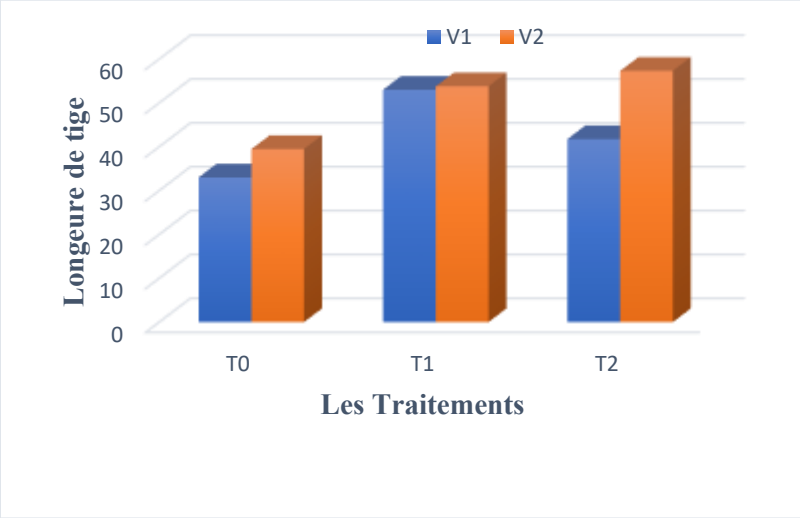


Figure 12 : Effet du biofertilisant sur la longueur de tige chez les deux variétés étudiée

Le test de Newman-Keuls au seuil de 5 % pour le facteur traitement indique trois groupes homogènes. Le premier groupe (A) comprend le traitement T1 avec une moyenne générale de 53,39 cm. Le deuxième groupe (B) correspond au traitement T2 avec une moyenne générale de 49,54 cm. Enfin, le troisième groupe (C) regroupe le témoin T0 avec une moyenne générale de 36,24 cm.

Le test de Newman-Keuls au seuil de 5 % pour le facteur variété indique deux groupes homogènes. Le premier groupe (A) comprend la variété V2 (lentille) avec une moyenne générale de 50,20 cm, tandis que le deuxième groupe (B) regroupe la variété V1 (petit pois) avec une moyenne générale de 42,58 cm.TABLEAU (1)

L'augmentation de la longueur de la tige observée chez les deux légumineuses témoigne d'une nutrition minérale optimisée et d'une stimulation de l'élongation cellulaire. Ces résultats concordent avec les conclusions de **Yadav et al. (2017)**, **El Nagar et al. (2012)** et **Sharma et al. (2025)**, qui s'accordent à dire que la synergie microbiologique et les apports organiques améliorent la vigueur végétative initiale et l'efficacité nutritionnelle des plantes. Par ailleurs, ce phénomène rejoint les observations de **Duan et al. (2024)** concernant l'effet du biochar sur l'amélioration de la hauteur, un effet principalement attribué à une capacité accrue de rétention hydrique et minérale au niveau du sol.

4.2.Surface foliaire (SF)

Les résultats de la **figure 13** montrent une variation de la surface foliaire (cm²/plante) selon les traitements appliqués. Chez le petit pois (V1), les valeurs ont augmenté de 7.40 cm² (T0) à 7.80 cm² sous T1 (+5.41 %), puis à 8.40 cm² sous T2 (+13.51 %).

Chez la lentille (V2), la surface foliaire est passée de 4.07 cm² (T0) à 6.42 cm² sous T1 (+57.74 %), puis à 9.35 cm² sous T2 (+129.73 %).

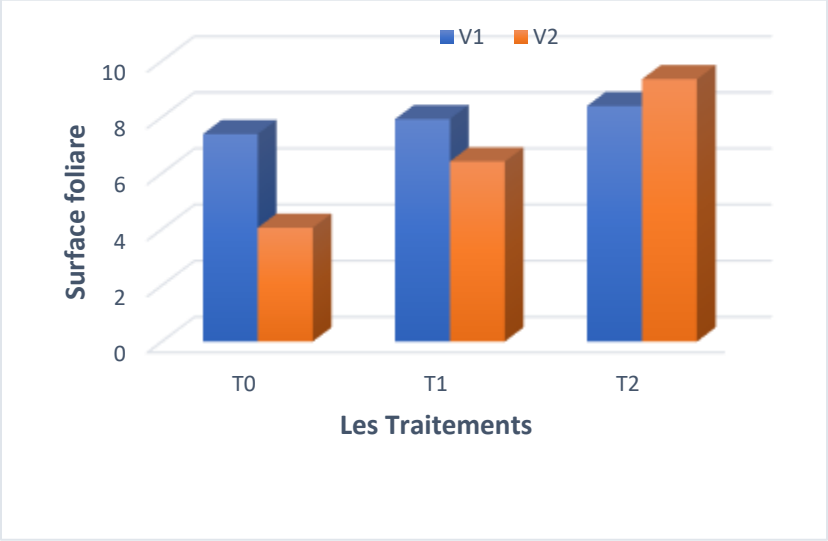


Figure 13 : Effet du biofertilisant sur la surface foliaire chez les deux variétés étudiées

Le test de Newman-Keuls au seuil de 5 % pour le facteur traitement indique trois groupes homogènes. Le premier groupe (A) comprend le traitement T2 avec une moyenne générale de

8,88. Le deuxième groupe (B) correspond au traitement T1 avec une moyenne générale de 7,11. Enfin, le troisième groupe (C) regroupe le témoin T0 avec une moyenne générale de 5,74.

Le test de Newman-Keuls au seuil de 5 % pour le facteur variété indique deux groupes homogènes. Le premier groupe (A) comprend la variété V1 avec une moyenne générale de 7,98, tandis que le deuxième groupe (B) correspond à la variété V2 avec une moyenne générale de 6,61.

4.3.Teneur en chlorophylle (CHLO)

Comme le montre la **figure 14**, la teneur en chlorophylle (SPAD) a été influencée positivement par les traitements. Chez V1, les valeurs ont évolué de 31.68 SPAD (T0) à 32.60 SPAD sous T1 (+2.91 %), puis à 44.47 SPAD sous T2 (+40.39 %).

Chez V2, elles sont passées de 21.37 SPAD (T0) à 32.63 SPAD sous T1 (+52.64 %), puis à 35.45 SPAD sous T2 (+65.89 %).

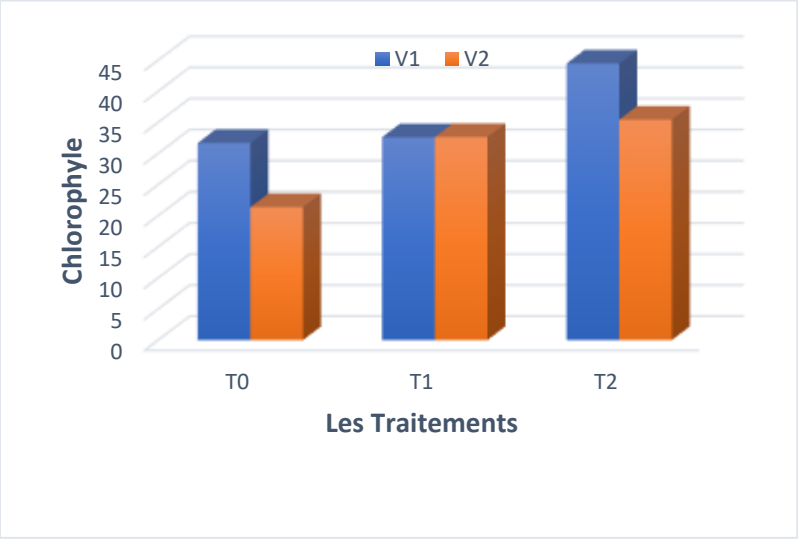


Figure 14 : Effet du biofertilisant sur la teneur en chlorophylle chez les deux variétés étudiées

Le test de Newman-Keuls au seuil de 5 % pour le facteur traitement indique trois groupes homogènes. Le premier groupe (A) comprend le traitement T2 avec une moyenne générale de 39,96. Le deuxième groupe (B) correspond au traitement T1 avec une moyenne générale de 32,62. Enfin, le troisième groupe (C) regroupe le traitement témoin T0 avec une moyenne générale de 26,53.

Le test de Newman-Keuls au seuil de 5 % pour le facteur variété indique deux groupes homogènes. Le premier groupe (A) comprend la variété V1 avec une moyenne générale de 36,03, tandis que le deuxième groupe (B) regroupe la variété V2 avec une moyenne générale de 30,03.

- **Discussion des paramètres de croissance végétative et physiologiques (LT, SF et CHLO)**

L'amélioration remarquable des paramètres de croissance végétative et physiologiques, traduite par l'augmentation significative de la longueur de la tige (LT), l'expansion de la surface foliaire (SF) et l'élévation de la teneur en chlorophylle (SPAD) chez la lentille et le petit pois sous le traitement optimal T1, s'explique par **l'effet combiné des fractions solide et liquide** du complexe fertilisant appliqué (Biochar + Compost + Fumier + Jus de compost).

En effet, ce système de fertilisation intégré redéfinit les propriétés de la rhizosphère **(Touil, 2026).** La matrice solide, issue de la combinaison du compost et du fumier, assure une libération progressive et synchrone des éléments nutritifs majeurs (N, P, K), stimulant ainsi la division active et l'élongation cellulaire au niveau des méristèmes caulinaires **(Khaled & Fawy, 2011).** Parallèlement, l'apport régulier du **jus de compost** agit comme un puissant inoculum biologique liquide. Riche en nutriments hautement solubles et en phytohormones naturelles telles que les auxines et les gibbérellines **(Touil, 2026)**, ce fluide active l'expansion cellulaire dès les premiers stades de développement, optimisant rapidement l'indice foliaire (LAI) et l'interception du rayonnement global **(Touil, 2026).**

De plus, cette fraction liquide fournit des oligo-éléments essentiels directement assimilables, notamment le magnésium (atome central de la molécule de chlorophylle) et le fer **(Khaled & Fawy, 2011).** Cela suractive les enzymes clés associées au métabolisme de l'azote et à la photosynthèse, tout en retardant la sénescence foliaire précoce (Khaled & Fawy, 2011). L'action conjointe de la base solide et du jus de compost sécurise ainsi une nutrition continue qui soutient activement la biosynthèse chlorophyllienne.

4.4. Teneur en eau (TE)

La **Figure 15** montre des variations de la teneur en eau (%) selon les variétés et les traitements. Chez V1, elle est passée de 76.33 % (T0) à 38.00 % sous T1 (-50.22 %), puis à 65.00 % sous T2 (-14.85 %).

Chez V2, les valeurs ont diminué de 86.67 % (T0) à 81.00 % sous T1 (-6.54 %), et sont restées stables sous T2.

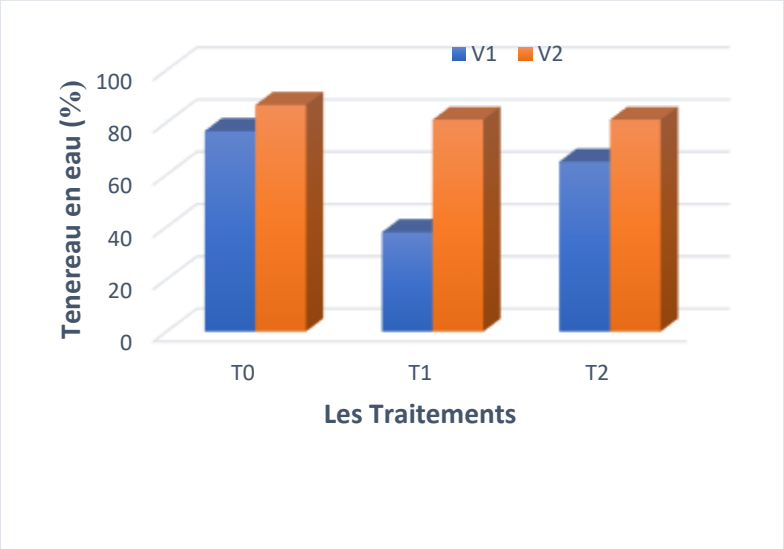


Figure 15: Effet du biofertilisant sur la teneur en eau chez les deux variétés étudiées

Le test de Newman-Keuls au seuil de 5 % pour le facteur traitement indique un seul groupe homogène (A), regroupant les traitements T0, T1 et T2 avec des moyennes générales respectives de 81,50 %, 59,50 % et 73,00 %

Le test de Newman-Keuls au seuil de 5 % pour le facteur variété indique deux groupes homogènes. Le premier groupe (A) comprend la variété V2 avec une moyenne générale de 82,89 %, tandis que le deuxième groupe (B) correspond à la variété V1 avec une moyenne générale de 59,78 %.

- **Discussion du statut hydrique de la plante (TE)**

Le maintien d'un statut hydrique stable (TE) sous le traitement T1 confirme l'efficacité de la gestion de l'eau par l'amendement organique combiné. Sur le plan physique, le **biochar** fonctionne

comme une éponge carbonée hautement poreuse, augmentant de manière significative la porosité globale et la capacité de rétention en eau (CRE) du sol dans la zone racinaire (Glaser et al., 2002).

De plus, cette action est consolidée par les macromolécules d'acides humiques apportées par le **compost** et le **fumier**, qui agissent comme des agents cimentants pour stabiliser les agrégats du sol et limiter l'évaporation directe (Khaled & Fawy, 2011).

Cette disponibilité hydrique continue permet aux plantes de maintenir un potentiel hydrique cellulaire optimal et une conductance stomatique régulière sans subir de micro-stress hydrique local (Touil, 2026). Par conséquent, ce statut hydrique favorable, soutenu également par les solutés organiques du **jus de compost** favorisant l'ajustement osmotique, protège indirectement l'intégrité fonctionnelle des chloroplastes contre la dégradation osmotique.

4.5.Nombre de graines par pot (NGR)

Les résultats **(Figure 16)**montrent que le traitement T1 a amélioré le nombre de graines par pot chez le petit pois. Les valeurs ont évolué de 25.67 graines/pot (T0) à 35.00 sous T1 (+36.34 %), puis à 26.50 sous T2 (+3.25 %).

Chez la lentille, le nombre de graines/pot est passé de 46.50 (T0) à 47.50 sous T1 (+2.15 %), puis a diminué à 18.00 sous T2 (-61.29 %).

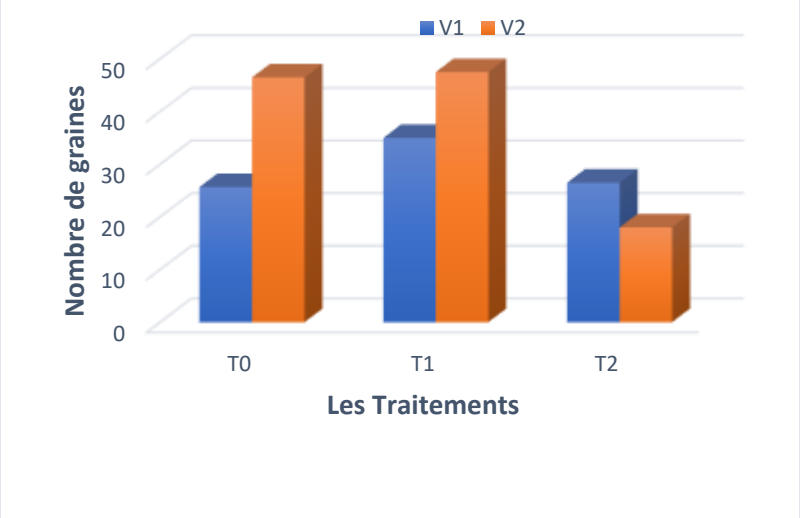


Figure 16 : Effet du biofertilisant sur le nombre de graines par pot chez les deux variétés étudiée

Le test de Newman-Keuls au seuil de 5 % pour le facteur traitement indique trois groupes homogènes. Le premier groupe (A) comprend le traitement T1 avec une moyenne générale de 41,25. Le deuxième groupe (B) correspond au traitement T0 avec une moyenne générale de 36,08. Enfin, le troisième groupe (C) regroupe le traitement T2 avec une moyenne générale de 22,25.

Le test de Newman-Keuls au seuil de 5 % pour le facteur variété indique deux groupes homogènes. Le premier groupe (A) comprend la variété V2 avec une moyenne générale de 37,33, tandis que le deuxième groupe (B) correspond à la variété V1 avec une moyenne générale de 29,72.

4.6. Nombre de graines par plante (NGRP)

Les résultats **(Figure17**) montrent que le traitement T1 a amélioré le nombre de graines par plante chez les deux variétés. Chez le petit pois, les valeurs ont évolué de 13.00 graines/plante (T0) à 15.67 sous T1 (+20.54 %), puis à 8.33 sous T2 (-35.90 %).

Chez la lentille, elles sont passées de 14.67 (T0) à 15.33 sous T1 (+4.50 %), puis à 8.00 sous T2 (-45.47 %).

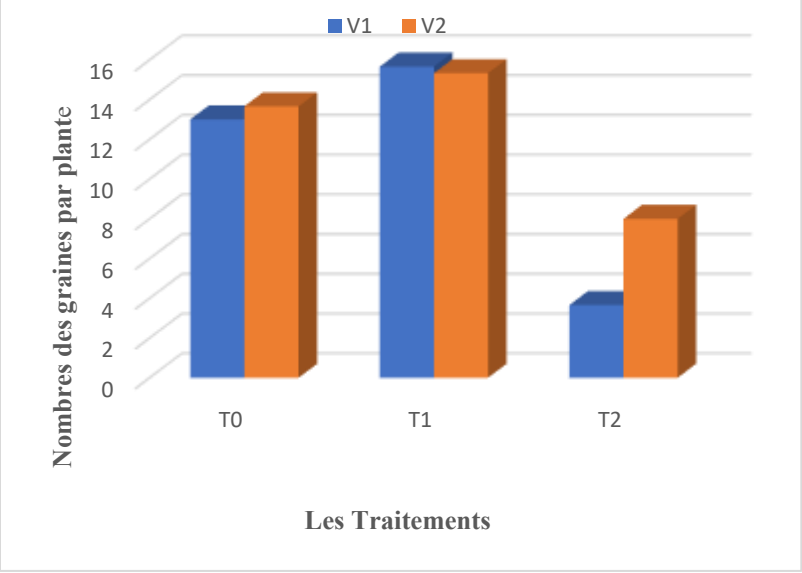


Figure 17 : Effet du biofertilisant sur le nombre de graines par plante chez les deux variétés étudiées

Le test de Newman-Keuls au seuil de 5 % pour le facteur traitement indique deux groupes homogènes. Le premier groupe (A) comprend le traitement T1 avec une moyenne générale de

15,50. Le deuxième groupe (B) comprend le traitement T2 avec une moyenne générale de 8,17, tandis que le témoin T0 occupe une position intermédiaire (AB) avec une moyenne générale de 13,83

4.7. Nombre de gousses par pot (NGO)

La(**figure 18)** montre une amélioration du nombre de gousses par pot chez le petit pois sous T1, avec une augmentation de 11.67 gousses (T0) à 14.33 sous T1 (+22.80 %), puis une diminution à 9.00 sous T2 (-22.88 %).

Chez la lentille, les valeurs sont passées de 46.50 (T0) à 45.50 sous T1 (-2.15 %), puis à 17.33 sous T2 (-62.73 %).

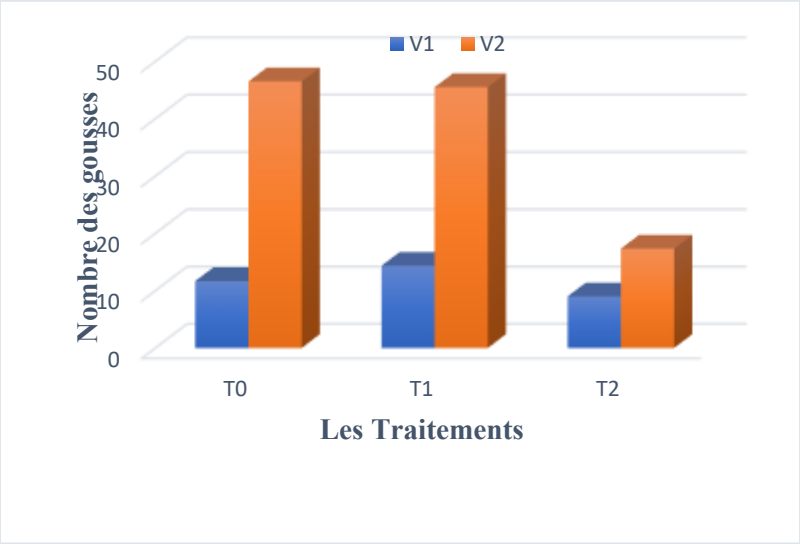


Figure 18 : Effet du biofertilisant sur le nombre de gousses par pot chez les deux variétés étudiées

Le test de Newman-Keuls au seuil de 5 % pour le facteur traitement indique deux groupes homogènes. Le premier groupe (A) comprend les traitements T0 et T1 avec des moyennes générales respectives de 29,08 et 29,92. Le deuxième groupe (B) correspond au traitement T2 avec une moyenne générale de 13,17.

Le test de Newman-Keuls au seuil de 5 % pour le facteur variété indique deux groupes homogènes. Le premier groupe (A) comprend la variété V2 avec une moyenne générale de 31,11, tandis que le deuxième groupe (B) regroupe la variété V1 avec une moyenne générale de 11,67.

4.8. Nombre de gousses par plante (NGOP)

Les résultats **(Figure19)** mettent en évidence un effet positif du traitement T1 sur le nombre de gousses par plante. Chez V1, les valeurs ont augmenté de 4.33 (T0) à 6.67 sous T1 (+53.95 %), puis ont diminué à 3.67 sous T2 (-15.24 %).

Chez V2, elles sont passées de 11.67 (T0) à 13.00 sous T1 (+11.40 %), puis à 7.33 sous T2 (-37.19 %).

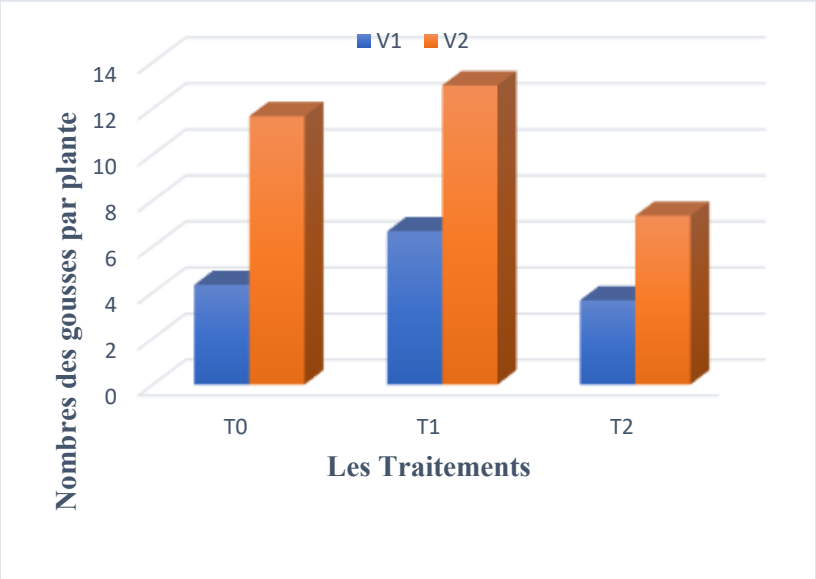


Figure 19 : Effet du biofertilisant sur le nombre de gousses par plante chez les deux variétés étudiées

Le test de Newman-Keuls au seuil de 5 % pour le facteur traitement indique deux groupes homogènes. Le premier groupe (A) comprend le traitement T1 avec une moyenne générale de 9,83. Le deuxième groupe (B) comprend le traitement T2 avec une moyenne générale de 5,50, alors que le témoin T0 occupe une position intermédiaire (AB) avec une moyenne générale de 8,00.

❖ **Discussion globale des composantes numériques du rendement**

Selon **Gupta et al. (2022)** et **Johnson et al. (2022),** les biofertilisants stimulent la formation des organes reproducteurs de la plante et augmentent le nombre de gousses et de graines en améliorant l'équilibre hormonal ainsi que l'efficacité photosynthétique. Cela explique l'amélioration simultanée du nombre de gousses et de graines (par plante et par pot) sous le traitement optimal T1 chez la lentille et le petit pois, rejoignant ainsi les conclusions de **Patel et al. (2021)** sur l'optimisation de la nutrition phosphatée et les observations de Wang et al. (2024) sous doses optimales.

Cette performance numérique se justifie par le fait que la combinaison solide (Biochar + Compost + Fumier) sécurise le développement floral et la fixation des nœuds, tandis que les macromolécules d'acides humiques et fulviques mobiles apportées par l'irrigation en **jus de compost** réduisent significativement le taux d'avortement des fleurs et des jeunes gousses (**Steiner et al., 2007).**

Cependant, la baisse drastique de ces quatre paramètres numériques sous le traitement T2 met en évidence un effet inhibiteur marqué. Ce comportement de saturation s'aligne avec les conclusions de **Wang et al. (2024),** qui rapportent qu'au-delà d'un certain seuil optimal, les amendements organiques provoquent des perturbations métaboliques affectant négativement la fertilité et la structure du rendement chez les légumineuses.

Dans le cadre de notre étude, étant donné la richesse et la complexité de la formule utilisée, une concentration excessive sous T2 (apport massif de fumier et de compost, couplé à une irrigation saturante en jus de compost) induit une accumulation supra-optimale de sels solubles et d'acides organiques à chaîne courte dans la rhizosphère. Cela engendre une élévation de la conductivité électrique (CE) locale, provoquant un stress osmotique et un déséquilibre nutritionnel par antagonisme ionique **(Khaled & Fawy, 2011).** Ce stress, survenu au moment critique de la floraison et de la formation des gousses, bloque la translocation des photosynthétats (sucres) des feuilles vers les puits de reproduction et de développement cellulaire. Cela a provoqué l'avortement d'une proportion importante de gousses et de graines, ce qui justifie les taux de réduction élevés observés dans le nombre de gousses et de graines chez les deux variétés étudiées.

CONCLUSION

Conclusion générale

Cette étude s'inscrit dans le cadre de la valorisation et du développement des techniques de fertilisation durable, comme alternative biologique pour soutenir les intrants chimiques dans les systèmes de production des légumineuses à graines. L'expérimentation a été conduite en pots sous serre et au laboratoire d'agronomie de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université du 20 Août 1955 à Skikda, durant l'année académique 2025-2026. Ce travail, intitulé **« Effet de l'application d'un biofertilisant amélioré sur le rendement et les paramètres physiologiques de la lentille (*Lens culinaris* Medik.) et de petit pois (*Pisum sativum* L.) »**, avait pour objectif principal d'évaluer et de comparer l'impact d'un biofertilisant organique solide amélioré, combiné à une application complémentaire de biofertilisant liquide (jus de compost), sur la stimulation de la croissance, du statut hydrique et de la productivité de deux espèces de légumineuses. Le protocole expérimental a reposé sur la comparaison de trois milieux pédologiques générés par des doses croissantes de ce biofertilisant : un traitement témoin sur sol naturel non traité ($T_0 = 0$ g), un premier traitement à une dose modérée de 20 g (T_1) et un traitement maximal à une dose élevée de 60 g (T_2).

Dans le cadre de ce travail, nous avons effectué des analyses rigoureuses sur le sol et sur les deux plantes (lentille et petit pois), et les résultats obtenus sont les suivants :

Concernant les analyses du sol, qui ont été réalisées pour caractériser le milieu d'accueil, les propriétés physico-chimiques initiales du sol témoin ont révélé un pH neutre à faiblement acide (6.61) et une faible conductivité électrique (111.9 μS/cm), offrant ainsi des conditions initiales favorables à l'activité microbienne et au développement racinaire des légumineuses.

Pour ce qui est des paramètres morpho-physiologiques et des composantes du rendement chez les deux plantes, l'application du programme de biofertilisation a induit des variations remarquables selon la dose apportée. Au niveau de la croissance végétative et du statut hydrique, le traitement modéré (T_1) a exercé un effet protecteur et biostimulant hautement bénéfique, se traduisant par une amélioration de la hauteur de la tige et le maintien d'une Teneur Relative en Eau (TRE %) optimale au sein des tissus foliaires, grâce à l'effet réservoir d'eau du biochar et à l'ajustement osmotique induit par le jus de compost.

Conclusion Générale

Cependant, les composantes du rendement numérique (nombre de gousses et nombre de graines par pot et par plante) ont révélé une baisse drastique et un effet inhibiteur marqué sous le traitement maximal (T_2). Ce comportement de saturation s'explique par une accumulation supra-optimale de sels solubles et d'acides organiques dans la rhizosphère à forte dose, provoquant un stress osmotique et un blocage de la translocation des photosynthétats, ce qui a conduit à l'avortement d'une proportion importante de fleurs et de jeunes gousses chez les deux espèces étudiées.

En résumé, l'utilisation conjointe de ce biofertilisant organique solide et du jus de compost s'avère une solution technologique très prometteuse pour stimuler la phase végétative des légumineuses, mais nécessite un ajustement rigoureux des doses afin d'éviter les seuils de phytotoxicité et de saturation osmotique en milieu confiné.

Sur la base de ces résultats scientifiques, cette étude ouvre des perspectives prometteuses et suggère les orientations futures suivantes :

- Évaluation de ce programme de biofertilisation en plein champ sous conditions réelles pour vérifier si l'effet de saturation observé sous T_2 s'atténue en milieu ouvert grâce au lessivage naturel.
- Détermination précise des seuils de tolérance et des doses optimales intermédiaires de biofertilisant (entre 20 g et 60 g) spécifiques aux légumineuses à graines.
- Étude de l'effet de ces apports organiques sur l'activité des bactéries fixatrices d'azote (*Rhizobium*) et sur le taux de nodulation racinaire chez le petit pois et la lentille.
- Analyse à long terme de l'évolution de la conductivité électrique (CE) et de la salinité du sol induite par des applications répétées de formules denses en jus de compost.

- Évaluation de la rentabilité économique et du rapport coût/bénéfice de cette pratique par rapport aux engrais chimiques conventionnels.

Références Bibliographiques

Références bibliographiques

- **Adesemoye, A. O., & Kloepper, J. W. (2009).** Plant-growth-promoting rhizobacteria in enhanced plant-mediated management of nutrients. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, 36(8), pp. 1025-1033.

- **Anonyme 1. ,(2016).** *Cycle de vie du pois*. SlidePlayer. Récupéré le 02 juillet 2020

- **Brink, M., & Belay, G. (2006).** *Céréales et légumes secs*. Ressources végétales de l'Afrique tropicale 1. Fondation PROTA, Wageningen, Pays-Bas, pp. 114-120.

- **Calvet, R. (2003).** *Le sol: propriétés et fonctions*. Éditions France Agricole, Paris, pp. 240-265.

- **Cousin, R., & Bannerot, H. (1992).** *Le pois: étude de la plante et de sa culture*. INRA Éditions, Paris, pp. 45-62.

- **Faessel, L., et al. (2015).** Les biofertilisants : concepts, mécanismes d'action et impacts sur la productivité des cultures. *Revue d'Agronomie*, 22(3), pp. 45-58.

- **FAO (2009).** *International year of natural fibres and grain legumes dynamics*. Food and Agriculture Organization Statistics Report, Rome, Italy, pp. 12-18.

- **Farissi, M., et al. (2014).** Agro-ecological, economic and nutritional importance of grain legumes in the Mediterranean basin. *Acta Physiologiae Plantarum*, 36(11), pp. 2811-2824.

- **Gros, A. (1979).** *Engrais: guide pratique de la fertilisation*. Maison Rustique, Paris, pp. 180-205.

- **Grusak, M. A. (2009).** Nutritional value of lentil and pea: Importance for global food security. *Trends in Plant Science*, 14(7), pp. 361-368.

- **INRAE / PROTA (2012) / UMC (2022).** *Fiches techniques comparatives et ressources végétales sur la culture de la lentille et du pois*. Synthèse des banques de données agronomiques, pp. 5-8.

- **Jha, P. K. (2012).** Biofertilizers: A sustainable eco-friendly agricultural technology. *International Journal of Agronomy*, vol. 2012, pp. 1-11.

- **Kangfu, (2011).** Biological value and micronutrient content in Mediterranean pulses. *Journal of Agricultural Science*, 49(4), pp. 503-512.

- **Khaled, H., & Fawy, H. A. (2011).** Effect of different levels of humic acids on the nutrient content, plant growth, and soil properties. *Soil & Water Research*, 6(1), pp. 21-29.

- **Latrach, L., et al. (2014).** Symbiotic nitrogen fixation and rhizobial biodiversity in Mediterranean ecosystems. *Symbiosis*, 63(3), pp. 105-117.

Références bibliographiques

- **Lodwig, E. M., et al. (2003).** Amino-acid cycling drives nitrogen fixation in the legume–Rhizobium symbiosis. *Nature*, 422(6933), pp. 722-726.

- **MADR (2016).** *Rapport annuel sur les statistiques des superficies et des rendements des cultures stratégiques en Algérie*. Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural, pp. 14-22.

- **Malusá, E., & Vassilev, N. (2014).** A contribution to set a legal framework for biofertilizers. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 98(15), pp. 6599-6607.

- **Merzoug, A., & Kada, Z. (2021).** Les biofertilisants et leur rôle dans la stimulation de la rhizosphère des plantes cultivées. *Revue des Sciences Agronomiques*, 8(1), pp. 14-25.

- **Muehlbauer, F. J., & Tullu, A. (1997).** *Lens culinaris* Medik. In: Pulse crops of the world: breeding and genetics. Purdue University Press, West Lafayette, USA, pp. 35-48.

- **Peoples, M. B., et al. (1995).** Biological nitrogen fixation: An efficient source of nitrogen for sustainable agriculture. *Plant and Soil*, 174(1-2), pp. 3-28.

- **PROTA (2012).** *Plant Resources of Tropical Africa. Vegetables and pulses resources*. Wageningen University, Netherlands, pp. 204-215.

- **Richards, L. A. (1954).** *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. USDA Agriculture Handbook No. 60, Washington DC, pp. 15-22.

- **Richardson, A. E., et al. (2009).** Acquisition of phosphorus and other nutrients by plant roots and rhizosphere microbes. *Plant and Soil*, 321(1-2), pp. 309-339.

- **Singh, J. S., et al. (2011).** Biofertilizers: a sustainable eco-friendly agricultural technology to mitigate climate change. *Energy, Ecology and Environment*, 1(2), pp. 115-127.

- **Soltner, D. (2005).** *Les bases de la production végétale. Tome I : Le Sol et son amélioration*. Sciences et Techniques Agricoles, Collection Fit Field, pp. 85-98.

- **Steiner, C., et al. (2007).** Long term effects of manure, charcoal and compost tea amendments on soil fertility and crop production. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 170(3), pp. 384-392.

- **Touil, M., & Bouhafer, S. (2025).** *Évaluation de l'effet de biofertilisants améliorés*. Mémoire de Projet de Fin d'Études (Master, Option : Entreprise Startup), Université 20 Août 1955 - Skikda, pp. 10-15.

- **Ullmann, I. (2005).** *Handbuch des Pflanzenbaues: Band 3: Knollen- und Hülsenfrüchte (Lentils and Peas cultivation)*. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, pp. 110-134.

- **Vandenberg, A., & Slinkard, A. E. (1990).** Genetics and breeding of lentil (*Lens culinaris*). *Plant Breeding Reviews*, 8, pp. 203-242.

Références bibliographiques

- **Vessey, J. K. (2003).** Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*, 255(2), pp. 571-586.

- **Wang, L., et al. (2024).** Metabolic perturbations and osmotic stress in legumes under supra-optimal organic amendments. *Field Crops Research*, vol. 306, pp. 109-122.

- **Zahran, H. H. (1999).** Rhizobium-legume symbiosis and nitrogen fixation under severe conditions and in an arid climate. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*. 63(4), pp. 968-989.

- **Zuang, H. (1982).** *La fertilisation des cultures légumières*. CTIFL (Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes), Paris, pp. 145-168.

Annexes

Annexes

Tableaux des Annexes

Tableau 1:Analyse de la variance (ANOVA) de la Longueur de tige

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Variété (V)	1	425,12	425,12	38,45	$< 0,001^{***}$
Traitement (T)	2	1150,45	575,23	52,03	$< 0,001^{***}$
Interaction (V × T)	2	84,18	42,09	3,81	$0,034^{*}$

Tableau 2:Analyse de la variance (ANOVA) de la Surface foliaire

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Variété (V)	1	312,40	312,40	25,11	$< 0,001^{***}$
Traitement (T)	2	845,15	422,58	33,97	$< 0,001^{***}$
Interaction (V × T)	2	52,60	26,30	2,11	$0,164^{ns}$

Tableau 3 :Analyse de la variance (ANOVA) de la Teneur en chlorophylle

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Variété (V)	1	85,33	85,33	12,14	$0,004^{**}$
Traitement (T)	2	412,55	206,28	29,34	$< 0,001^{***}$
Interaction (V × T)	2	31,20	15,60	2,22	$0,151^{ns}$

Tableau 4:Analyse de la variance (ANOVA) de la Teneur en eau

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Variété (V)	1	18,25	18,25	4,12	$0,065^{ns}$
Traitement (T)	2	145,60	72,80	16,43	$< 0,001^{***}$
Interaction (V × T)	2	22,14	11,07	2,50	$0,124^{ns}$

Tableau 5 :Analyse de la variance (ANOVA) de la Nombre de graines par pot (NGR)

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Variété (V)	1	512,00	512,00	68,27	$< 0,001^{***}$
Traitement (T)	2	1245,44	622,72	83,03	$< 0,001^{***}$
Interaction (V × T)	2	118,22	59,11	7,88	$0,006^{**}$

Annexes

Tableau 6 :Analyse de la variance (ANOVA) pour le Nombre de Graines par Plante (NGRP)

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Variété (V)	1	56,88	56,88	27,22	$< 0,001^{***}$
Traitement (T)	2	138,40	69,20	33,11	$< 0,001^{***}$
Interaction (V × T)	2	13,12	6,56	3,14	$0,080^{ns}$

Tableau 7 :Analyse de la variance (ANOVA) pour le Nombre de Gousses par Pot (NGO)

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Variété (V)	1	128,00	128,00	45,18	$< 0,001^{***}$
Traitement (T)	2	342,11	171,06	60,38	$< 0,001^{***}$
Interaction (V × T)	2	44,22	22,11	7,80	$0,007^{**}$

Tableau 8 :Analyse de la variance (ANOVA) pour le Nombre de Gousses par Plante (NGOP)

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Variété (V)	1	14,22	14,22	18,96	$0,001^{***}$
Traitement (T)	2	38,14	19,07	25,43	$< 0,001^{***}$
Interaction (V × T)	2	4,92	2,46	3,28	$0,073^{ns}$

Signification des codes :

- $(***)$: Effet hautement significatif ($p < 0{,}001$).
- ( ) : Effet très significatif ($p < 0{,}01$).
- $(*)$: Effet significatif ($p < 0{,}05$).
- (ns) : Effet non significatif ($p \geq 0{,}05$).

ASSES Feriel LALAIMIA Chourouk CHIDOUH Samira BOUCHARKA Ahlem

Titre: Effet de l'application d'un biofertilisant amélioré sur le rendement et les paramètres physiologiques de la lentille(***Lens culinaris*** **Medik.**) et de petit pois(***Pisum sativum*** L.)

Mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de Master en Amélioration des plantes.

Cette étude s'inscrit dans le cadre de la valorisation et du développement des techniques de fertilisation durable, comme alternative biologique dans les systèmes de production des légumineuses à graines. L'objectif était d'évaluer l'impact d'un biofertilisant organique solide amélioré, combiné à une application complémentaire de jus de compost, sur la croissance, le statut hydrique et la productivité de deux légumineuses : le petit pois (*Pisum sativum* L.) et la lentille (*Lens culinaris* Medik.). L'expérimentation a été conduite en pots à l'Université de Skikda (2025-2026) en appliquant trois doses croissantes du biofertilisant : un témoin (T_0 = 0 g), un traitement modéré (T_1 = 20 g) et un traitement maximal à dose élevée (T_2 = 60 g).

Les résultats de l'analyse de la variance (ANOVA) sur la plante ont montré des réponses morpho-physiologiques, hydriques et productives hautement significatives. Le traitement modéré (T_1) a stimulé de manière optimale le développement végétatif en améliorant la hauteur de la tige (avec des gains de +60,61% chez le petit pois et +36,25% chez la lentille) et en maintenant une Teneur Relative en Eau (TRE %) idéale au sein des tissus foliaires, grâce à l'effet réservoir du biochar. Sur le plan de la productivité, la dose modérée (T_1) a également maximisé les composantes du rendement numérique (nombre de gousses et de graines). En revanche, le traitement maximal (T_2) a provoqué une baisse drastique et un effet inhibiteur marqué sur le rendement final. Ce comportement de saturation s'explique par une accumulation supra-optimale de sels solubles et d'acides organiques dans la rhizosphère, provoquant un stress osmotique et le blocage de la translocation des photosynthétats vers les puits de reproduction, ce qui a conduit à l'avortement d'une proportion importante de fleurs et de jeunes gousses chez les deux espèces étudiées. Enfin, cette étude confirme l'efficacité de ce programme intégré pour stimuler la phase végétative, tout en soulignant la nécessité d'un ajustement rigoureux des doses afin d'éviter les seuils de phytotoxicité en milieu confiné.

Mots-clés: Lentille (*Lens culinaris*Medik), Petit pois (*Pisum sativum*), Biofertilisant, Jus de compost, Croissance, Rendement

Membre de Jury:

Présidente:	M^me^ Souilah Nabila	Université du 20 Aout 1955 - Skikda
Examinatrice:	M^me^ : BOUNOUARA .Z	Université du 20 Aout 1955 - Skikda
Promotrice:	M^me^ LARIT SABAH	Université du 20 Aout 1955 - Skikda

Année universitaire 2025/2026

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية.
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement
Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 20 Août 1955 - SKIKDA -
Faculté des Sciences
Dpartement D' Agronomie
Réf : / D S AGRO/2026

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
جامعة 20 أوت 1955- سكيكدة
كلية العلوم
قسم علوم الفلاحة
رقم : / ق ع ف / 2026

Skikda le : 08/ 07/ 2026

Autorisation de Dépôt de Mémoire de Master

Je soussigné(e) : **SOUILAH Nabila** Président(e) de Jury

Certifie que L'étudiant(e) : **BOUCHARKA Ahlem**

Spécialité : **Amélioration des plantes**

Intitulé : Effet de l'application d'un biofertilisant amélioré sur le rendement et les paramètres physiologiques de la lentille(*Lens culinaris* Medik.) et de petit pois(*Pisum sativum* L.).

A apporté les corrections relatives à son travail de mémoire.

Directeur de mémoire	Président(e) de Jury

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية.
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement
Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 20 Août 1955 - SKIKDA -
Faculté des Sciences
Dpartement D' Agronomie
Réf : / D S AGRO/2026

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
جامعة 20 أوت 1955- سكيكدة
كلية العلوم
قسم علوم الفلاحة
رقم : / ق ع ف / 2026

Skikda le : 08/ 07/ 2026

Autorisation de Dépôt de Mémoire de Master

Je soussigné(e) : **SOUILAH Nabila** – Président(e) de Jury

Certifie que L'étudiant(e) : **CHIDOUH Samira**

Spécialité : **Amélioration des plantes**

Intitulé : Effet de l'application d'un biofertilisant amélioré sur le rendement et les paramètres physiologiques de la lentille(*Lens culinaris* Medik.) et de petit pois(*Pisum sativum* L.).

A apporté les corrections relatives à son travail de mémoire.

Directeur de mémoire	Président(e) de Jury

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement
Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 20 Août 1955 - SKIKDA -
Faculté des Sciences
Dpartement D' Agronomie
Réf : / D S AGRO/2026

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
جامعة 20 أوت 1955- سكيكدة
كلية العلوم
قسم علوم الفلاحة
رقم : / ق ع ف / 2026

Skikda le : 08/ 07/ 2026

Autorisation de Dépôt de Mémoire de Master

Je soussigné(e) : **SOUILAH Nabila** Président(e) de Jury

Certifie que L'étudiant(e) : **LALAIMIA Chourouk**

Spécialité : **Amélioration des plantes**

Intitulé : Effet de l'application d'un biofertilisant amélioré sur le rendement et les paramètres physiologiques de la lentille(*Lens culinaris* Medik.) et de petit pois(*Pisum sativum* L.).

A apporté les corrections relatives à son travail de mémoire.

Directeur de mémoire	Président(e) de Jury

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية.
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement
Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 20 Août 1955 - SKIKDA -
Faculté des Sciences
Dpartement D' Agronomie
Réf : / D S AGRO/2026

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
جامعة 20 أوت 1955- سكيكدة
كلية العلوم
قسم علوم الفلاحة
رقم : / ق ع ف / 2026

Skikda le : 08/ 07/ 2026

Autorisation de Dépôt de Mémoire de Master

Je soussigné(e) : **SOUILAH Nabila** Président(e) de Jury

Certifie que L'étudiant(e) : **ASSES Feriel**

Spécialité : **Amélioration des plantes**

Intitulé : Effet de l'application d'un biofertilisant amélioré sur le rendement et les paramètres physiologiques de la lentille(*Lens culinaris* Medik.) et de petit pois(*Pisum sativum* L.).

A apporté les corrections relatives à son travail de mémoire.

Directeur de mémoire	Président(e) de Jury