**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 **Science d'agronomie**

**Thème :**

# Impact d'un biofertilisant amélioré sur la croissance et la productivité de certaines céréales sous différentes doses d'application

**Présenté par :**

- **NEHAL DOUAA**
- **BOUDABZA NOUR EL IMANE**
- **CHAALAN ROUKIA**

**Membres de Jury:**

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Mr** : Hafsi Zakaria | (MCA) | **Président** | Université du 20 Août 1955 – Skikda |
| **Mme**: Bounouara Zohra | (MCB) | **Examinatrice** | Université du 20 Août 1955 – Skikda |
| **Mme** : Larit Sabah | (MCB) | **Promotrice** | Université du 20 Août 1955 – Skikda |

**Année universitaire : 2025-2026**

# Remerciements

Avant tout, nous remercions Dieu le Tout-Puissant de nous avoir donné la force, la patience et le courage d'accomplir ce travail.

Nous exprimons notre profonde gratitude à notre encadrant, LARIT SABAH, pour avoir dirigé ce travail avec une grande rigueur scientifique, pour sa disponibilité constante et ses précieux conseils tout au long de ce projet.

Nous adressons nos sincères remerciements à Monsieur HAFSI Zakaria pour l'honneur qu'il nous fait en acceptant de présider ce jury et pour l'intérêt qu'il a porté à notre travail.

Nous exprimons également notre profonde reconnaissance à Madame BOUNOUARA Zohra pour avoir accepté d'examiner ce mémoire et pour les remarques et suggestions constructives qu'elle nous a apportées.

Enfin, nous tenons à remercier chaleureusement tout le corps enseignant et technique du Département d'Agronomie de l'Université de Skikda, particulièrement le personnel des laboratoires et de la serre expérimentale pour leur aide précieuse lors des phases de traitement et de mesures.

# Dédicace

Portée par une immense fierté et animée d'une profonde gratitude après tant d'efforts et de persévérance, je dédie ce modeste travail :

À mes chers parents, **mon père** et **ma mère**, mes piliers et mes guides. Vos prières et votre soutien ont toujours été ma plus grande force. Que Dieu vous préserve et vous comble de bonheur.

À moi-même, pour avoir persévéré, résisté au stress et aux difficultés, et pour n'avoir jamais abandonné jusqu'à l'aboutissement de ce travail.

À la personne qui a toujours été mon pilier et mon plus grand soutien, pour sa présence, sa confiance et son encouragement constant.

À toute **ma précieuse famille**, pour son amour et son soutien indéfectible tout au long de mon parcours universitaire.

À mes deux fidèles amies, avec qui j'ai partagé les moments de fatigue, de stress, mais aussi les joies et les souvenirs inoubliables de cette aventure.

**Nehal Douaa**

# Dédicace

﴿دَعْوَاهُمْ فِيهَا سُبْحَانَكَ اللَّهُمَّ وَتَحِيَّتُهُمْ فِيهَا سَلَامٌ ۚ وَآخِرُ دَعْوَاهُمْ أَنِ الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ﴾

Louange à *Allah*, Seigneur des mondes, qui m'a accordé la force et la volonté nécessaires pour mener ce travail à son terme.

Je dédie ce modeste travail à ***mon cher père*** et à ***ma chère mère***, en témoignage de mon amour, de ma gratitude et de ma profonde reconnaissance pour tous les sacrifices, le soutien et les prières dont ils m'ont entourée. Qu'Allah les protège et les préserve.

*À mes frères et sœurs*, pour leur affection, leur soutien et leur encouragements constants. Qu'Allah leur accorde réussite et bonheur.

*À ma grande famille*, les familles Chalane et Khezri, à tous ceux qui me sont chers, pour leur amour et leur présence à mes côtés.

*À mon encadrante*, Madame Larit Sabah, pour sa disponibilité, ses précieux conseils et son accompagnement tout au long de la réalisation de ce travail.

Enfin, je dédie ce travail à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à son aboutissement.

*Roukia*

# Dédicace

À moi-même, en reconnaissance de ma patience, de ma persévérance et des efforts consentis pour réaliser ce rêve.

À **mes chers parents**, en signe de profonde gratitude pour leur amour, leur soutien et leurs prières, qui ont été la clé de ma réussite.

À mon cher époux, pour son amour, sa patience, son soutien et ses encouragements constants.

À mes frères et sœurs, à la famille de mon époux et à mes grands-parents, en témoignage de ma reconnaissance pour leur affection, leur soutien, leurs prières et leur présence précieuse à mes côtés.

À mes enseignants, pour leur savoir, leurs conseils et leur accompagnement tout au long de mon parcours académique.

À ma famille, à mes proches et à tous ceux qui m'ont soutenue de près ou de loin, en signe de gratitude pour toute aide, tout conseil et tout encouragement reçus.

Enfin, louange à Allah, qui m'a accordé la réussite et m'a permis de mener ce travail à son terme.

**Nour El Imane**

# RESUME EN FRANÇAIS

**Titre :** Impact d'un biofertilisant amélioré sur la croissance et la productivité de certaines céréales sous différentes doses d'application

**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 céréaliers. L'objectif était d'évaluer l'impact d'un biofertilisant organique solide amélioré, développé l'année dernière par une Start-up, combiné à une application complémentaire de jus de compost, sur la croissance et la productivité de deux céréales : le blé dur (variété « Ammar 6 ») et l'orge (variété « Fouara »). 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 à 1% ($T_1 = 50$ g) et un traitement maximal à 3% ($T_2 = 150$ g).

Les résultats de l'analyse de la variance (ANOVA) sur la plante ont montré des réponses morpho-physiologiques et productives hautement significatives. Le traitement maximal ($T_2$) a stimulé de manière optimale le développement végétatif et a maximisé le potentiel productif en enregistrant un rendement final moyen remarquable de **15,94** g/pot, suivi par $T_1$ (**12,83** g/pot), tandis que le témoin $T_0$ a marqué la valeur la plus faible (**8,79** g/pot). Sur le plan génétique, l'orge s'est révélée plus performante pour les composantes structurelles (moyenne de **13,48** contre **11,25** pour le blé dur), bien que ce dernier ait manifesté une meilleure efficacité physiologique. Enfin, l'interaction statistique s'est révélée non significative pour le rendement final, confirmant une réponse positive globale et uniforme des deux cultures vis-à-vis de ce programme intégré de biofertilisation.

**Mots-clés :** Blé dur (*Triticum durum* L.), Orge (*Hordeum vulgare* L.),Biofertilisant, Jus de compost, Doses d'apport, Rendement .

# RESUME EN ANGLAIS

**Title:** Impact of an enhanced biofertilizer on the growth and productivity of certain cereals under different application doses

**Abstract:**

This study aims to evaluate sustainable fertilization techniques as a biological alternative in cereal cropping systems. The objective was to assess the impact of an enhanced solid organic biofertilizer developed last year by a Start-up, combined with a complementary application of liquid **compost juice**, on stimulating the growth and productivity of two strategic cereals: durum wheat (variety "Ammar 6") and barley (variety "Fouara"). The pot experiment was conducted at the University of Skikda (2025-2026) using three increasing doses of the biofertilizer: a control ($T_0 = 0$ g), a 1% concentration ($T_1 = 50$ g), and a maximal 3% concentration ($T_2 = 150$ g).

The plant analysis of variance (ANOVA) showed highly significant morpho-physiological and yield responses under the effect of the studied factors. The maximum treatment ($T_2$) optimally stimulated vegetative development and maximized the productive potential, recording a remarkable average **final yield** of **15.94** g/pot, followed by $T_1$ (**12.83** g/pot), while the control $T_0$ marked the lowest value (**8.79** g/pot). Genetically, barley performed better for structural yield components, showing an overall mean of **13.48** compared to **11.25** for durum wheat, which displayed superior physiological efficiency. Finally, the statistical interaction between genotype and treatment was non-significant for the final yield, confirming a uniform and positive response of both cereal crops toward this promising biofertilization program.

**Keywords:** Durum wheat (*Triticum durum* L.), Barley (*Hordeum vulgare* L.), Biofertilizer, Compost juice, Fertilizer doses, Final yield.

# RESUME EN ARABE

**العنوان :** تأثير مخصب حيوي مطور على نمو وإنتاجية بعض الحبوب تحت مستويات تسميد مختلفة


## الملخص

تندرج هذه الدراسة في إطار تثمين وتطوير تقنيات التسميد المستدام كبديل حيوي للمدخلات الكيميائية في المنظومات الزراعية. استهدفت التجربة تقييم ومقارنة تأثير مخصب حيوي عضوي صلب مطور تابع لمؤسسة ناشئة (Start-up) تم إنتاجه العام الماضي، مدعّم بتطبيق سائل مكمل من عصير السماد العضوي(*jus de compost*) ، على تحفيز النمو والإنتاجية لنوعين من الحبوب الاستراتيجية: القمح الصلب.*Triticum durum* L) ، صنف « عمار 6 ») والشعير *Hordeum vulgare* L.)، صنف « فوارة »). أُجريت التجربة افي الاصص داخل الصوبة الزجاجية والمختبر التابعين لقسم العلوم الفلاحية بجامعة 20 أوت 1955 بسكيكدة خلال الموسم 2025-2026، واعتمد البروتوكول على مقارنة ثلاث جرعات تصاعدية من السماد الحيوي: الشاهد($T_0 = 0$ g) ، المعاملة الأولى بنسبة 1($T_1 = 50$ g) %، والمعاملة القصوى بنسبة 3.($T_2 = 150$ g) %

وقد شملت الدراسة إجراء تحاليل على النبات، حيث كشفت نتائج تحليل التباين (ANOVA) عن استجابات مورفوفيزيولوجية وإنتاجية عالية المعنوية تحت تأثير العوامل المدروسة. حققت المعاملة القصوى ($T_2$) تفوقاً مطلقاً في تحفيز النمو الخضري (طول الساق، طول عنق السنبلة، ومؤشر الكلوروفيل)، كما زادت بمتوسط المردود النهائي بشكل قياسي ليسجل **15.94 غ/أصيص** مقارنة بالجرعة $T_1$ **12.83 غ/أصيص** (والشاهد $T_0$ الذي سجل أدنى إنتاجية بـ **8.79غ/أصيص** .وعلى الصعيد الوراثي، أظهر صنف الشعير تفوقاً إحصائياً في المكونات الهيكلية للمردود بمتوسط عام بلغ **13.48**مقابل **11.25**لصنف القمح الصلب، في حين تميز القمح الصلب بكفاءة فيزيولوجية أعلى من حيث المحتوى المائي والمساحة الورقية. وأخيراً، أثبتت المعالجة الإحصائية غياب أي تأثير تداخلي معنوي بين الصنف والمعاملة بالنسبة للمردود النهائي، مما يؤكد الاستجابة الإيجابية العامة والمنتظمة لكلا الصنفين تجاه هذا البرنامج التسميدي المبتكر.



**كلمات مفتاحية كلمات مفتاحية :** شعير (*Hordeum vulgare* L.), (*Triticum durum* L.) قمح صلب ، مخصب حيوي، عصير السماد العضوي، جرعات التسميد، المردود النهائي.

# Liste des Tableaux


| Tableaux | Titre | Page |
|---|---|---|
| **Tableau 1** | Classification botanique du blé dur et L'orge | 6 |
| **Tableau 2** | La répartition des unités expérimentales et des répétitions dans les pots | 17 |
| **Tableau 3** | Caractéristiques physico-chimiques et hydro-physiques du biofertilisant utilisé | 19 |
| **Tableau 4** | Modalités et méthodes d'application des traitements. | 21 |
| **Tableau 5** | Propriétés physico-chimiques de la terre témoin (*T*0) avant traitement. | 28 |

# Liste des Figures


| Figures | Titre | Page |
|---|---|---|
| **Figure 1** | Les stades de croissance et de développement des céréales (Zadok et al. (1974) | 7 |
| **Figure 2** | Vue de la serre expérimentale (Photo personnelle) | 16 |
| **Figure 3** | Les grains de deux variété testées (Photo personnelle) | 17 |
| **Figure 4** | Dispositif expérimental de l'essai de croissance en pots (photo personnelle) | 18 |
| **Figure 5** | Pesée de biofertilisant solide appliqués aux pots (Photo personnelle) | 20 |
| **Figure 6** | Incorporation du biofertilisant au sol (Photo personnelle) | 20 |
| **Figure 7** | Semis des graines du blé dur dans les pots (Photo personnelle ) | 21 |
| **Figure 8** | Application du biofertilisant liquide (Photo personnelle) | 21 |
| **Figure 9** | Photo représentative du profil | 23 |
| **Figure 10** | Mesure de la teneur en chlorophylle des feuilles à l'aide d'un chlorophyllomètre SPAD (Photo personnelle). | 25 |
| **Figure 11** | Effet des différentes doses du biofertilisant sur chlorophylle totale chez les deux variétés étudiées | 29 |
| **Figure 12** | Effet des différentes doses du biofertilisant sur la surface foliaire chez les deux variétés étudiées | 31 |
| **Figure 13** | Effet des différentes doses du biofertilisant sur la teneur relative en eau chez les deux variétés étudiées | 32 |
| **Figure 14** | Effet des différentes doses du biofertilisant sur la longueur de tige grains chez deux variétés étudiées | 34 |
| **Figure 15** | Effet des différentes doses du biofertilisant sur la langueur de col chez les deux variétés étudiées | 35 |
| **Figure 16** | Effet des différentes doses du biofertilisant sur la langueur d'épi avec barbe deux variétés étudiées | 37 |
| **Figure 17** | Effet des différentes doses du biofertilisant sur le nombre des graines par epi deux variétés étudiées | 38 |
| **Figure 18** | Effet des différentes doses du biofertilisant sur le nombre d'epi chez les deux variétés étudiées | 39 |
| **Figure 19** | Effet des différentes doses du biofertilisant sur le poids de 100 grains chez | 40 |
| **Figure 20** | Effet des différentes doses du biofertilisant sur le rendement chez deux variétés étudiées | 41 |

## Liste des Abréviations

| Abréviation | Signification |
|---|---|
| **FAO** | Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture |
| **MADR** | Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural |
| **$NH_3$** | Ammoniac |
| **PCG** | Poids de 100 grains |
| **$T_0$** | Traitement témoin (0g) |
| **$T_1$** | Traitement amendé par 50g (1%) |
| **$T_2$** | Traitement amendé par 150g (3%) |
| **USDA** | United States Department of Agriculture |
| **XLSTAT** | Logiciel d'analyse et traitement statistique |

# Table des matières

Remerciements
Dédicaces
Résumé en trois langues
Liste des abréviations
Liste des tableaux
Liste des figures

## SOMMAIRE

Introduction 1

### Partie I : Etude Bibliographique

### Chapitre 1 : Généralité sur le Blé et l'orge

1.Introduction 4

2.Historique ,origine botanique 5

3.Classification systématique et taxonomie 5

4.Description morphologique des organes 6

5.cycle biologique et reproducteur des céréales 7

5.1 . phase de Phase Ger mination et Levée 8

5.2.Phase de Tallage 8

5.3. Phase de Montaison (Élongation) 8

5.5.Remplissage et Maturation du Grain 9

6.Les Exigences de blé et l'orge 9

### Chapitre II : Généralité sur les biofertilisants

1.Définition 11

2.Classification et types de biofertilisants organiques 11

2.1. Le fumier (Fumier de ferme) 12

2.2. Le compost 12

2.3. Le biochar 12

3.Dynamique du compostage aérobie et phases thermiques 13

4. Formulation et optimisation des composants du biofertilisant 13

5 .Importance agro-environnementale pour une agriculture durable 14

### Partie II : Etude expérimentale

## Chapitre I : Materiel et méthode

1.Présentation du site de l'essai 15
2. Présentation du site de l'essai 15
3. Matériel végétal 16
4- Méthodes d'étude 17
4.1. Doses de biofertilisant organique appliquées 17
4.2. Dispositif expérimental 17
5-Le mode de culture et condition de croissance 18
5.1.Origine, préparation et procédé de fabrication du biofertilisant 18
5.2.Caractéristiques physico-chimiques et hydro-physiques du biofertilisant 18
5.3.Préparation des pots, amendement et semis 19
6. Paramètres étudiés 22
6.1. Mesure sur le sol 22
6.2. Mesure sur la plante 25
7- Analyse des données 27

## Chapitre II : Résultats et discussion

1.Caractéristiques physico-chimiques initiales du sol témoin 28
2. Effet des biofertilisants sur les caractéristiques morphologiques et la production du blé dur 29
2.1.Chlorophylle totale 29
2.2. La surface foliaire (SF) 31
2.3.Teneur Relative en Eau (TRE) 32
2.4.Longueur de la tige 34
2.5.Longueur du col de l'épi 35
2.6.Longueur de l'épi avec barbe 37
2.7.Nombre de graines par épi 38
2.8.Nombre d'epis 39
2.9.Poids de 100g 40
2.10.Le rendement 41
Conclusion 43
Références bibliographiques 45

# INTRODUCTION

# Introduction Générale

Les céréales, en particulier le blé dur (*Triticum durum* L. et l'orge (*Hordeum vulgare* L.) occupent une place prépondérante dans l'économie agricole mondiale et constituent la composante majeure des systèmes de production végétale et de la sécurité alimentaire humaine et animale. À l'échelle globale, la production céréalière fait face à une demande en croissance constante, stimulée par l'essor démographique. Selon les données récentes de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, la production mondiale de blé s'élève à environ 798 millions de tonnes, tandis que celle de l'orge se stabilise autour de 142 millions de tonnes **(FAO, 2025).** Bien que ces volumes soient considérables, les rendements globaux restent sévèrement menacés par les fluctuations climatiques, la récurrence des sécheresses et la dégradation continue des terres arables.

En Algérie, les céréales représentent un enjeu stratégique de souveraineté nationale. Sur le plan de la production locale, les statistiques les plus récentes de l'année indiquent que la récolte nationale de blé stagne autour de 3 millions de tonnes, alors que la production d'orge a enregistré une nette progression pour atteindre 1,2 million de tonnes, hissant le pays au deuxième rang des plus grands producteurs d'orge dans le monde arabe et en Afrique **(USDA, 2025 ; MADR, 2025).** Malgré les efforts consentis par l'État pour moderniser le secteur et étendre les superficies cultivées — notamment dans les régions sahariennes et les hauts plateaux —, la production nationale reste caractérisée par une forte irrégularité. Cette situation de vulnérabilité est principalement imputable à la dépendance vis-à-vis d'une pluviométrie capricieuse, mais aussi à des contraintes édaphiques majeures, telles que la faible teneur des sols en matière organique, la salinité et le blocage des éléments nutritifs essentiels **(MADR, 2023).**

Pour corriger ces déficits nutritionnels et maximiser les rendements, l'agriculture algérienne a massivement recouru, durant des décennies, aux engrais chimiques de synthèse (N, P, K). Bien que ces intrants permettent une augmentation rapide de la productivité à court terme, leur application intensive et irraisonnée a engendré des répercussions écologiques désastreuses : pollution des nappes phréatiques, eutrophisation des écosystèmes, acidification des sols et altération drastique de la microflore tellurique bénéfique. Face à cette crise écologique, la

transition vers des pratiques agricoles durables et résilientes est devenue une nécessité impérative (**Singh et al., 2024).**

C'est dans cette optique que l'utilisation des amendements organiques (tels que le fumier de ferme et le compost) et des biofertilisants microbiens suscite un intérêt grandissant dans la recherche agronomique contemporaine. Les amendements organiques agissent globalement sur la matrice du sol en améliorant sa structure physique, sa capacité de rétention en eau et en stimulant son activité biologique globale. Parallèlement, les biofertilisants — formulés à partir de micro-organismes bénéfiques (bactéries rhizosphériques promotrices de la croissance des plantes ou PGPR, champignons mycorhiziens) — interviennent de manière ciblée pour optimiser l'assimilation des nutriments solubles, sécréter des phytohormones et renforcer la tolérance immunitaire des cultures face aux stress abiotiques (**Kalia *et al*., 2020).**

Récemment, les approches biotechnologiques se sont orientées vers la conception de "biofertilisants améliorés", des formulations hybrides combinant une matrice organique stabilisée (enrichie au biochar ou co-compostée) et des consortiums microbiens ou macro-organismes (comme les vers de terre dans le vermicompost). Ces biofertilisants améliorés ou enrichis, qu'ils soient appliqués sous forme solide ou liquide pour un apport rapide, visent à synchroniser la libération des éléments nutritifs avec les besoins physiologiques de la plante tout en modifiant positivement les propriétés physiques du milieu d'accueil (**Aytenew et Bore, 2023).** Cependant, l'efficacité agronomique de ces formulations complexes reste largement tributaire de la dose optimale à appliquer, ouvrant ainsi un vaste champ d'investigation sur la réponse des cultures à différents niveaux d'apport.

C’est précisément dans ce contexte scientifique et environnemental que s’inscrit notre travail de recherche, mené au sein des laboratoires de l'Université 20 Août 1955 de Skikda, qui pose une problématique centrale quant à savoir comment l'application d'un biofertilisant amélioré peut optimiser la croissance, le comportement physiologique et la productivité du système de culture du blé dur et de l'orge, et dans quelle mesure ses effets réels sur les plantes de blé et d'orge varient selon les différentes doses du biofertilisant appliqué dans le milieu d'accueil **.**

# Introduction Générale

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'« **Impact d'un biofertilisant amélioré sur la croissance et la productivité de certaines céréales selon différentes doses du biofertilisant appliqué au substrat ».** 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 blé dur et d'orge, d'analyser son influence sur les paramètres morphologiques (tels que la taille des plantes, le tallage et le nombre d'épis) et physiologiques (à l'exemple du taux de chlorophylle et de la teneur en eau relative), et enfin de déterminer l'effet de cette formulation sur les composantes du rendement en grains en fonction des différentes concentrations et niveaux d'apport du biofertilisant organique solide combinés à un apport de biofertilisant liquide."

Afin de présenter nos démarches et nos résultats de manière logique, ce manuscrit est structuré en deux grandes parties distinctes. La première partie, consacrée à l'étude bibliographique, comprend deux chapitres fondamentaux : le **Chapitre I** résume les généralités sur les espèces étudiées (*Généralités sur les espèces étudiées*), détaillant les exigences écophysiologiques du blé dur et de l'orge, tandis que le **Chapitre II** traite des généralités sur les biofertilisants (*Généralités sur les biofertilisants*), définissant leurs types, leur mode d'action et la dynamique du compostage. La seconde partie, quant à elle, est dédiée à l'étude expérimentale (*Étude expérimentale*) et s'articule également autour de deux chapitres : le **Chapitre I** détaille l'ensemble du matériel utilisé et les méthodes d'analyse adoptées (*Matériel et méthodes*), alors que le **Chapitre II** est entièrement dévolu à la présentation, l'analyse statistique effectuée via le logiciel XLSTAT et la discussion approfondie des résultats obtenus (*Résultats et discussion*) à la lumière des connaissances scientifiques actuelles .

# PREMIERE PARTIE : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

# Chapitre I

## 1.Introduction

Les céréales constituent la base indispensable de l'alimentation humaine et animale à travers le monde, et occupent une place prépondérante dans la structure de l'économie agricole en Algérie **(Abdelguerfi et al., 2018)**. Parmi ces cultures hautement stratégiques, le blé dur (*Triticum durum* Desf.) et l'orge (*Hordeum vulgare* L.) se positionnent comme les deux piliers des systèmes de grandes cultures de la région méditerranéenne **(Bouzerzour et al., 2014)**. Cette zone est structurellement caractérisée par des contraintes climatiques majeures, une irrégularité pluviométrique intra- et interannuelle **(Chennafi et al., 2011)**, ainsi qu'une dégradation progressive de la structure des sols subissant les effets combinés de l'érosion et de l'aridification **(Latati et al., 2019)**.

- **Le Blé dur :**

**Le Blé dur (*Triticum durum* Desf.)** est une plante monocotylédone annuelle appartenant à la famille des **Poaceae** (Gramineae), caractérisé par un génome tétraploïde ($2n = 4x = 28$ chromosomes, génomes AB) **(Zohary et al., 2012)**. Sur le plan agro-économique, il représente une culture stratégique majeure pour la sécurité alimentaire en Algérie **(Abdelguerfi et al., 2018)**. Ses grains, dotés d'un albumen vitreux, se distinguent par leur richesse en protéines gluténiques de haute qualité, conférant à la pâte des propriétés viscoélastiques optimales pour la transformation industrielle en semoules, pâtes alimentaires et couscous **(Feillet, 2000)**. Bien que sa culture soit prédominante dans les zones sub-humides et semi-arides algériennes, elle reste fortement limitée par les aléas climatiques, notamment la sécheresse terminale et le stress thermique en fin de cycle **(Chennafi et al., 2011)**.

- **L'Orge:**

**L'Orge (*Hordeum vulgare* L.)** est une céréale d'hiver de la famille des **Poaceae**, caractérisée par un génome diploïde ($2n = 2x = 14$ chromosomes) **(Komatsuda et al., 2007)**. En Algérie, l'orge occupe une place socio-économique primordiale, se positionnant juste après le blé en termes de superficie cultivée **(MADR, 2022)**. Cette culture se distingue par sa rusticité remarquable, sa tolérance élevée au stress hydrique, à la salinité et aux basses températures, ce qui en fait la céréale de choix pour les zones arides et semi-arides, notamment les hautes plaines et les régions steppiques **(Benmahammed et al., 2010)**. Son importance réside principalement dans son utilisation comme base de l'alimentation animale (fourrage vert, grains et paille pour le bétail), ainsi que dans l'alimentation humaine

traditionnelle et l'industrie du maltage **(Newman & Newman, 2008)**.

## 2.Historique, origine botanique

❖ **Blé dur**

Le blé est une espèce cultivée depuis la plus haute Antiquité. Son apparition et sa domestication progressive remontent à environ 15 000 ans avant J.-C., dans la région du Croissant Fertile (comprenant notamment la vallée du Jourdain, la Palestine, la Jordanie, l'Irak et l'ouest de l'Iran) (**Feldman & Sears, 1981 ; Mouellef, 2010 ; Ouanzar, 2012**). Cette période charnière correspond à la transition historique des sociétés humaines du mode de vie de chasseurs-cueilleurs vers l'agriculture sédentaire. Le blé dur figure parmi les premières espèces cultivées au cours de la période néolithique (**Feillet, 2000**). Au cours de cette évolution, les blés tétraploïdes sauvages (*Triticum turgidum* subsp. *dicoccoides*) ont subi des mutations naturelles et une sélection anthropique sévère, menant aux variétés modernes parfaitement adaptées au bassin méditerranéen (**Djendli & Fedani, 2019**).

❖ **L'Orge**

Parallèlement au blé, l'orge est considérée comme l'une des toutes premières cultures domestiquées par l'homme au Proche-Orient. Les recherches archéobotaniques démontrent que l'orge cultivée actuelle dérive directement de l'espèce sauvage diploïde *Hordeum vulgare* subsp. *spontaneum* (**Pourkheirandish et al., 2015 ; Lakhal, 2025**). Cependant, les flux génétiques complexes prouvent qu'elle résulte d'un brassage issu de plusieurs types sauvages poussant en Asie centrale, occidentale, dans le désert syrien et en Mésopotamie septentrionale (**Lamasher, 2023**), lui conférant une plasticité écologique supérieure.

## 3.Classification systématique et taxonomie

Le blé dur et l'orge partagent une proximité phylogénétique étroite au sein de la famille des *Poaceae* (Graminées) et de la tribu des *Triticeae*. **Tableau(01)**

**Tableau 01** : Classification botanique du blé dur et L'orge(**Chadefaud &Emberger, 1960 ; Prats, 1960 ; Feillet, 2000)**

| RANG TAXONOMIQUE | LE BLÉ DUR | L'ORGE |
|---|---|---|
| **Règne** | *Plantae* | ***Plantae*** |
| **Sous-règne** | *Tracheobionta* (Plantes vasculaires) | ***Tracheobionta*** **(Plantes vasculaires)** |
| **Division** | *Magnoliophyta* (Angiospermes) | ***Magnoliophyta*** **(Angiospermes)** |
| **Classe** | *Liliopsida* (Monocotylédones) | ***Liliopsida*** **(Monocotylédones)** |
| **Ordre** | *Poales* | ***Poales*** |
| **Famille** | *Poaceae* (Graminées) | ***Poaceae*** **(Graminées)** |
| **Sous-famille** | *Pooideae* | ***Pooideae*** |
| **Tribu** | *Triticeae* | ***Triticeae*** |
| **Genre** | *Triticum* | ***Hordeum*** |
| **Espèce** | ***Triticum durum*** **Desf.** | ***Hordeum vulgare*** **L.** |

## 4.Description morphologique des organes

La caractérisation botanique met en évidence des structures anatomiques optimisées pour l'adaptation environnementale :

- **Le système racinaire :** De type fasciculé, il comprend les racines séminales (ou embryonnaires) temporaires, et les racines adventives (ou coronaires) permanentes qui émergent des nœuds de tallage juste sous la surface. L'architecture et le volume racinaire dépendent fortement des propriétés

physiques de la matrice brute du sol. Une bonne porosité favorise une exploration profonde, essentielle pour surmonter le déficit hydrique **(Tolba & Kherrab, 2019).**

- **L'appareil végétatif (Chaume et Feuilles) :** La tige est un chaume cylindrique creux segmenté par des nœuds. Chaque feuille comprend une gaine fendant le long de l'entre-nœud, un limbe linéaire, une ligule membraneuse et deux auricules. Les auricules de l'orge

sont particulièrement développées, glabres et embrassent totalement le chaume, constituant un critère de distinction infaillible par rapport au blé dur.

- **L'appareil reproducteur (Inflorescence) :** L'inflorescence est un épi porté par le rachis sinueux. Chez le blé dur, chaque nœud du rachis porte un épillet unique contenant 3 à 5 fleurs. Chez l'orge, chaque nœud porte trois épillets uniflores distincts. Selon la fertilité des épillets latéraux, on distingue les orges distiques (deux rangs) ou les orges hexastiques (six rangs) (**Lakhal, 2025).** Les glumes et glumelles se terminent fréquemment par des arêtes rugueuses impliquées dans la photosynthèse terminale.

## 5.Cycle biologique et reproducteur des céréales (blé dur et orge)

Le cycle de développement des céréales à paille, spécifiquement le blé dur (Triticum durum Desf.) et l'orge (Hordeum vulgare L.), englobe une succession de phases physiologiques complexes. Ce cycle est traditionnellement scindé en deux grandes étapes macro-phénologiques : la phase végétative (de la germination à la fin de la montaison) et la phase reproductrice (de l'initiation florale à la maturité complète des grains). L'analyse fine de ces étapes permet de synchroniser les interventions culturales avec les besoins réels de la plante.

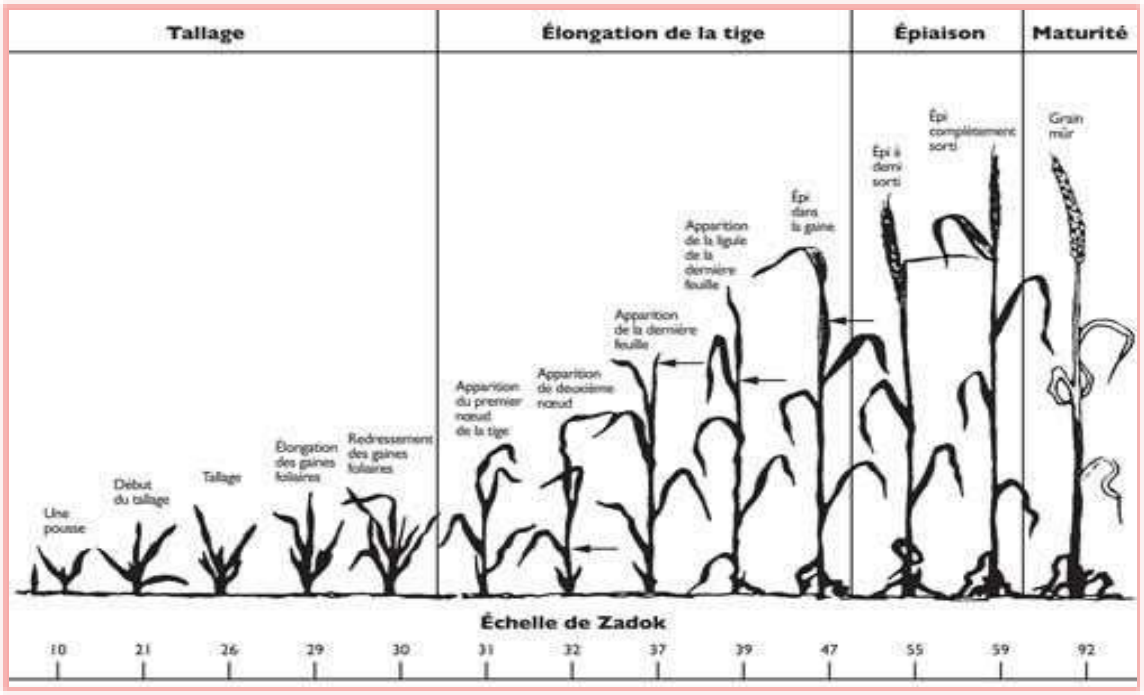



**Figure 01** : Les stades de croissance et de développement des céréales (**Zadok *et al.* (1974)**

### 5.1. Phase Ger mination et Levée

Le cycle commence dès l'imbibition du grain en eau, déclenchant l'activation enzymatique (notamment les alpha-amylases). Les racines séminales primaires percent les téguments, suivies par le coléoptile qui progresse vers la surface du sol. En conditions de grandes cultures en Algérie (zones semi-arides), cette phase est fortement dépendante de la structure et de l'humidité du lit de semences (**Yagmur & Kaydan, 2009 ; Djendli & Fedani, 2019).**

### 5.2.Phase de Tallage

Le tallage est caractérisé par la formation de tiges secondaires, appelées « talons » ou « talles», issues des bourgeons axillaires situés au niveau du nœud de tallage sous-terrain. L'orge possède une plasticité et un pouvoir de tallage herbacé génétiquement plus prononcés que le blé dur, ce qui lui permet d'occuper l'espace racinaire et aérien plus rapidement (**Benfadel & Mekouar, 2019).** L'accumulation de la biomasse à ce stade détermine le nombre potentiel d'épis par unité de surface.

### 5.3. Phase de Montaison (Élongation)

Cette étape marque la transition active vers la reproduction. Les entre-nœuds du chaume s'allongent successivement sous l'effet des poussées cellulaires. C'est la période où la croissance foliaire est maximale (indice foliaire culminant avec la sortie de la feuille étendard) et où l'épi commence sa différenciation morphologique interne dans la gaine supérieure **(Tolba & Kherrab, 2019).**

### 5.4.Phase d'Épiaison et Floraison

L'épiaison correspond à la sortie complète de l'inflorescence hors de la gaine de la dernière feuille. Elle est immédiatement suivie par l'anthèse (ouverture des anthères et libération du pollen). Un contraste écophysiologique majeur apparaît ici : le blé dur présente une floraison ouverte et visible, alors que l'orge en conditions arides ou semi-arides en Algérie exprime une régulation par « cléistogamie » (auto-fécondation confinée à l'intérieur de la gaine foliaire), ce qui immunise partiellement son pollen contre le dessèchement thermique précoce **(Lakhal, 2025).**

### 5.5.Remplissage et Maturation du Grain

Cette phase ultime assure la migration et le stockage des assimilats carbonés issus de la photosynthèse active (limbes, gaines et arêtes) et de la remobilisation des réserves temporaires de la tige vers les puits (les grains). Le cycle passe par les stades laiteux, pâteux, jusqu'à la maturité complète où le grain atteint sa dessiccation naturelle. Le rendement final (poids de 1000 grains - PMG) est tributaire de l'absence de stress thermique ou hydrique durant cette translocation **(Amar & Chakeur, 2017).**

## 6.Les Exigences de blé et l'orge :

Les cultures céréalières telles que le blé et l'orge nécessitent des conditions environnementales favorables afin d'assurer une bonne croissance et un rendement élevé. Ces conditions concernent principalement la lumière, la température, le sol, l'eau et la fertilisation.

- **L'éclairage :**

La lumière constitue un facteur essentiel dans le développement du blé et de l'orge. Elle favorise la croissance végétative, renforce les tiges et limite le phénomène de la verse (lodging). En revanche, un manque de lumière peut nuire à la formation et à la fertilité des épis, surtout lorsqu'il est associé à une humidité élevée. La durée du jour influence également le développement de la plante, en accélérant l'élongation des tiges et la formation des épis, notamment en cas de semis tardifs **(Chafik et Dabbadi, 2008).**

- **La température :**

La température joue un rôle déterminant à toutes les étapes du développement du blé et de l'orge. La germination est optimale à des températures comprises entre 20 et 22 °C, tandis que des températures plus faibles (environ 7 à 8 °C) sont favorables au développement du système racinaire. Des températures élevées accélèrent la croissance, mais peuvent réduire le développement des racines et la taille des épis. L'orge se distingue par une meilleure tolérance au froid et à la sécheresse que le blé (**Soltner, 2005).**

- **Le sol** :

Le blé et l'orge s'adaptent à différents types de sols, mais les meilleurs résultats sont obtenus dans des sols profonds, bien structurés et riches en matière organique. Les sols argilo-limoneux ou sablo-limoneux, contenant une quantité suffisante de calcaire, sont

particulièrement favorables, car ils assurent une bonne rétention d'eau et une nutrition minérale équilibrée. L'orge est capable de se développer dans des sols moins fertiles que le blé **(Mahrizi, 2007).**

- **L'humidité (l'eau)** :

L'eau est indispensable tout au long du cycle de développement de la plante. Elle est essentielle durant la germination et joue un rôle important pendant la phase végétative pour la formation des racines et des feuilles. Un déficit hydrique à ce stade ralentit la croissance et affaiblit les plantes. Les besoins en eau sont maximaux durant la floraison et le remplissage des grains, où le stress hydrique entraîne une diminution du rendement. Cependant, l'orge est plus tolérante à la sécheresse que le blé (**Mousli, 2006).**

- **La fertilisation :**

La fertilisation contribue à améliorer la croissance des plantes et à augmenter la productivité en apportant les éléments nutritifs nécessaires au sol. L'azote, le phosphore et le potassium sont les principaux éléments indispensables au développement du blé et de l'orge. Le blé est généralement plus exigeant en nutriments, tandis que l'orge est capable de mieux valoriser les ressources disponibles même en conditions de faible fertilité **(Oulmi, 2015).**

# Chapitre II

## 1.Définition

Les amendements organiques et les biofertilisants constituent une alternative biotechnologique particulièrement intéressante pour l'agriculture moderne, car ils associent des avantages agronomiques et environnementaux majeurs (FAO, 2020). Il convient cependant de distinguer deux notions complémentaires dans la science du sol :

- **Les amendements organiques :** Ce sont des substances d'origine naturelle (végétale, animale, microbienne ou minérale) qui, contrairement aux engrais de synthèse, proviennent de ressources biologiques renouvelables. Ils se caractérisent par leur biodégradabilité, leur faible toxicité et visent principalement à préserver ou améliorer les propriétés physiques, chimiques et l'activité biologique du sol en augmentant sa teneur en matière organique et en humus (Bhattacharjee et Dey, 2014 ; Schvartz et al., 2005 ; Soltner, 2003).
- **Les biofertilisants :** Ce sont des préparations contenant des micro-organismes vivants (bactéries, champignons) qui, appliqués aux semences, aux plantes ou aux sols, stimulent la croissance en augmentant la disponibilité, l'assimilation et l'absorption des nutriments essentiels par l'hôte (Kalia et al., 2020 ; Suhag, 2016).

## 2.Classification et types de biofertilisants organiques

Afin de mieux structurer la diversité des apports organiques en agriculture durable, il est nécessaire de les classer en trois grandes catégories selon leur origine et leur processus de transformation (Bhattacharjee et Dey, 2014) :

- **Les engrais organiques de masse :** Comprenant principalement le fumier de ferme et le compost.
- **Les engrais verts :** Cultures temporaires de légumineuses ou de graminées enfouies pour enrichir le sol.
- **Les biofertilisants microbiens :** Inoculants bactériens ou fongiques (ex: *Rhizobium*, *Azotobacter*).

### 2.1. Le fumier (Fumier de ferme)

Le fumier est un mélange complexe de déjections animales (principalement de bovins) et de litière (paille). C'est l'un des plus anciens amendements utilisés pour restaurer la fertilité des sols. Il apporte de la matière organique stable et des éléments nutritifs essentiels. Particulièrement riche en azote organique, il développe intensément l'activité microbienne indigène du sol. Son incorporation est recommandée en automne afin de permettre une humification progressive et limiter les pertes d'éléments volatils, ou au début du printemps dans les zones sujettes à l'érosion pour réduire le lessivage des nitrates (Bonin, 2006).

### 2.2. Le compost

Le compost est le produit stabilisé issu de la décomposition aérobie thermophile des matières organiques en présence d'oxygène. Ce processus implique un écosystème biologique complexe comprenant des vagues successives de micro-organismes (bactéries, actinomycètes, champignons) ainsi que la macrofaune du sol (vers de terre) (Mustin, 2006). Le compostage permet de recycler et de transformer des déchets organiques hétérogènes en une matière humifiée, stable, hygiénisée et hautement riche en éléments nutritifs assimilables. Selon Mustin (1987), il s'agit d'un processus biologique contrôlé de dégradation, tandis que Gobat et al. (1998) le définissent comme un traitement intensif et accéléré de stabilisation des déchets.

### 2.3. Le biochar

Le biochar est un matériau carboné solide, poreux et hautement stable, obtenu par la pyrolyse de la biomasse végétale (telle que les noyaux d'olive ou les résidus de taille) à des températures élevées et en l'absence totale ou quasi-totale d'oxygène (Lehmann & Joseph, 2015). Grâce à sa structure poreuse et sa grande surface spécifique, le biochar agit comme une "éponge permanente" dans le sol : il améliore la rétention en eau, augmente la Capacité d'Échange Cationique (CEC), structure les sols sableux, réduit l'acidité des sols et sert de refuge physique (micro-habitat) pour les micro-organismes bénéfiques (Woolf et al., 2010).

## 3.Dynamique du compostage aérobie et phases thermiques

La production de biofertilisants organiques de haute qualité repose sur le contrôle rigoureux du compostage aérobie. Les matières premières sont disposées en couches alternées en respectant un équilibre entre les matériaux carbonés (bruns/secs) et azotés (verts/humides), avec ajout régulier de biochar et maintien d'une humidité optimale (généralement entre 50 et 60 %) (Mustin, 2006). L'apport d'oxygène est maintenu par des retournements périodiques du tas, ce qui permet également de réguler la température. Ce processus biologique se déroule impérativement en plusieurs phases thermiques successives, dictées par l'évolution des communautés microbiennes :

- **La phase mésophile initiale (20 à 40 °C) :** Caractérisée par la colonisation rapide des composés solubles et facilement biodégradables (sucres, acides aminés) par des bactéries et champignons mésophiles. L'intense activité métabolique provoque une élévation rapide de la température (Gobat et al., 1998).

- **La phase thermophile (40 à 65 °C) :** Les micro-organismes thermophiles et thermotolérants prennent le relais pour dégrader les polymères complexes (cellulose, hémicellulose). Cette phase est cruciale pour l'hygiénisation du compost, car les températures élevées détruisent les germes pathogènes humains/végétaux ainsi que les graines de mauvaises herbes (Mustin, 2006).

- **La phase de refroidissement et de maturation :** La température redescend progressivement vers le niveau ambiant. Des micro-organismes mésophiles spécialisés (comme les actinomycètes) colonisent le milieu pour finaliser la dégradation de la lignine et mener au processus d'humification, aboutissant à un produit mûr, stable et exempt de phytotoxicité (Gobat et al., 1998).

## 2. Formulation et optimisation des composants du biofertilisant

Pour maximiser l'efficacité agronomique du biofertilisant final, une combinaison synergique de plusieurs intrants organiques et biologiques est requise :

- **Les déchets organiques hétérogènes (ménagers et agricoles) :** Épluchures de légumes, coquilles d'œufs (apport en calcium), marc de café et feuilles sèches, fournissant une diversité d'éléments minéraux essentiels (Bhattacharjee et Dey, 2014).

- **Les engrais verts :** Tissus de légumineuses ou de graminées, hautement riches en azote facilement minéralisable pour les cultures (Soltner, 2003).
- **Le fumier bovin :** Utilisé comme un puissant "activateur ou inoculant biologique naturel" qui apporte une microflore active et ajuste le rapport Carbone/Azote (C/N) de départ du mélange (Bonin, 2006).
- **Le biochar :** Co-composté avec la matière matrice, il réduit la volatilisation de l'ammoniac (NH3), retient les nutriments solubles contre le lessivage et améliore la porosité globale du tas (Lehmann & Joseph, 2015).
- **Les vers de compost (*Eisenia fetida*) :** Introduits lors de la phase de maturation (vermicompostage), ils accélèrent la fragmentation mécanique de la matière organique, stimulent l'activité bactérienne par leur tube digestif et améliorent considérablement la structure granulométrique et la valeur fertilisante du complexe humique final (Gobat et al., 1998).

## 3. Importance agro-environnementale pour une agriculture durable

L'intégration des biofertilisants organiques s'inscrit au cœur des stratégies de transition écologique. En améliorant la structure physique du sol, ils renforcent la capacité de rétention hydrique et l'absorption des nutriments par le système racinaire des cultures, ce qui atténue l'impact des stress abiotiques tels que la sécheresse et la salinité (Kalia et al., 2020). De plus, contrairement aux engrais chimiques de synthèse dont l'efficacité est rapide mais souvent associée à des effets néfastes à long terme sur l'environnement (eutrophisation des eaux, dégradation de la microflore), les biofertilisants restaurent durablement la fertilité biologique des sols tout en préservant la santé humaine et la biodiversité des écosystèmes (Atieno et al., 2020 ; Pravin et al., 2016 ; Sivasakthi et al., 2014).

# Deuxième Partie : Etude Expérimentale

# CHAPITRE 1 : Matériel et Méthode

## 1- Objectif de l'essai :

L'objectif principal de cet essai est d'évaluer et de comparer l'impact d'un biofertilisant amélioré sur la croissance et la productivité de deux espèces de céréales : le blé dur (*Triticum durum* L., variété « **Ammar 6** ») et l'orge (*H ordeum vulgare* L., variété « **Fouara** »). Cet impact est étudié à travers la création de différents milieux pédologiques générés par l'application de différents programmes de biofertilisation.

L'étude comprend ainsi un traitement témoin sur sol naturel non traité ($T_0 = 0$ g) et deux milieux pédologiques modifiés par des doses d'apport du biofertilisant organique solide : $T_1 = 50$ g (1%) et $T_2 = 150$ g (3%), 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 02 :** Vue de la serre expérimentale **(Photo personnelle)**.

## 3- Matériel végétal :

Le matériel végétal utilisé dans cette expérimentation est composé de deux espèces de céréales majeures en Algérie, sélectionnées pour leur importance agronomique et leur adaptabilité aux conditions locales. Ces semences ont été fournies par l'Institut Technique des Grandes Cultures (**ITGC**). Il s'agit de :

- **Le Blé dur (*Triticum durum* Desf.) – Variété « Ammar 6 » :** C'est une variété algérienne améliorée, caractérisée par une hauteur de paille moyenne à courte, ce qui lui confère une bonne résistance à la verse. Elle présente une précocité moyenne à l'épiaison, lui permettant d'échapper relativement aux stress thermiques de fin de cycle (échaudage). Elle est reconnue pour son fort potentiel de rendement et sa bonne fertilité des épis (**Kirouani *et al.*, 2019**).
- **L'Orge (*Hordeum vulgare* L.) – Variété « Fouara » :** C'est une variété d'orge introduite et homologuée par l'ITGC, particulièrement adaptée aux zones semi-arides et aux variations des propriétés du sol. Elle se caractérise par une paille de hauteur moyenne, un système racinaire vigoureux et une capacité de tallage très élevée (tallage herbacé et utile). Elle possède une excellente aptitude générale pour la production de biomasse et de grains (**Benmahammed *et al.*, 2018**).

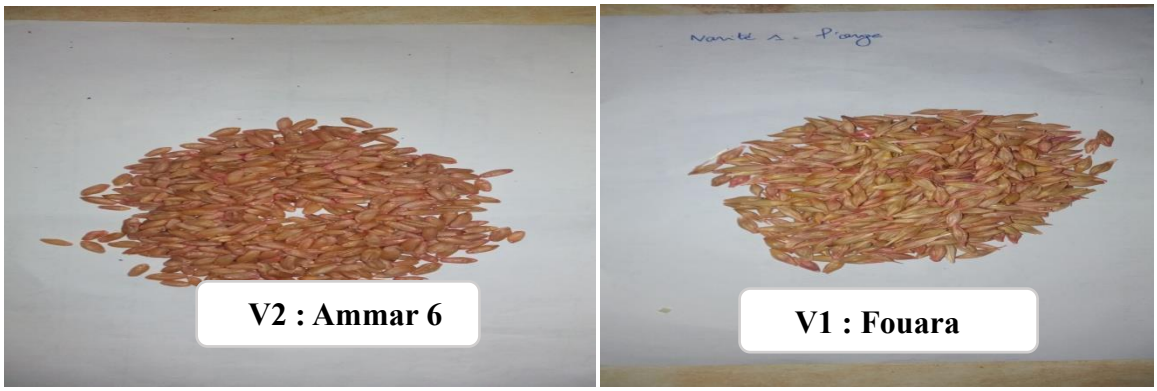



**Figure 03:** Les grains de deux variété testées **(Photo personnelle)**.

## 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 50 g (1%) de biofertilisant solide, **complétée par des applications de jus de compost (50 ml/L)**.
- **T2 :** Application de 150 g (3%) de biofertilisant solide, **complétée par des applications de jus de compost (50 ml/L)**.

### 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 02 :** La répartition des unités expérimentales et des répétitions dans les pots

| **Variétés** | **V1 : Fouara** | | | **V2 : Ammar6** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **T/R** | T0 | T1 | T2 | T0 | T1 | T2 |
| **R1** | V1T0R1 | V1T1R1 | V1T2R1 | V2T0R1 | V2T1R1 | V2T2R1 |
| **R2** | V1T0R2 | V1T1R2 | V1T2R2 | V2T0R2 | V2T1R2 | V2T2R2 |
| **R3** | V1T0R3 | V1T1R3 | V1T2R3 | V2T0R3 | V2T1R3 | V2T2R3 |

- **R1, R2, R3:** Les trois répétitions.
- **T0 :** Traitement témoin (0 g/pot).
- **T1 :** Traitement à la dose de 1% (soit 50 g/pot) de biofertilisant organique solide **associé au biofertilisant liquide**.
- **T2 :** Traitement à la dose de 3% (soit 150 g/pot) de biofertilisant organique solide **associé au biofertilisant liquide**.



**Figure 04:** 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 blé dur et l'orge .

### 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 03**.

**Tableau 03 : 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, amendement et semis :

- **Définition des programmes de fertilisation (Traitements) :**

Dans cette expérimentation, les traitements étudiés (T0, T1, T2) représentent des programmes de biofertilisation intégrés, combinant l'apport initial du biofertilisant solide au sol et l'application complémentaire du biofertilisant liquide (*jus de compost*) en cours de cycle :

- T0 (Témoin) : Traitement de contrôle, conduit sur sol naturel sans aucun apport (ni solide, ni liquide).
- T1 (Dose minimale) : Application de 50 g/pot (1% du poids du sol) de biofertilisant solide avant semis, complétée par des irrigations et pulvérisations de jus de compost dilué à 50 ml/L aux stades tallage et montaison.

- T2 (Dose maximale) : Application de 150 g/pot (3% du poids du sol) de biofertilisant solide avant semis, complétée par le même programme de jus de compost liquide (50 ml/L) aux mêmes stades phénologiques.

➢ **Préparation du sol et amendement :** Le sol destiné à l'essai, provenant de la région d'El Hadaeik (Skikda), a été préalablement séché à l'air libre et tamisé afin d'éliminer les débris grossiers et d'obtenir une texture homogène. Ensuite, 18 pots en plastique ont été préparés, chacun rempli avec 5 kg de ce sol. Pour les pots amendés, les doses correspondantes (50 g pour T1 et 150 g pour T2) ont été pesées avec précision (**Figure 05**) et incorporées de manière homogène dans la partie supérieure du sol de chaque pot (**Figure 06**). Une légère irrigation de stabilisation a été effectuée juste avant le semis.



**Figure 05 : Pesée de biofertilisant solide appliqués aux pots (Photo personnelle).**



**Figure 06 :** Incorporation du biofertilisant au sol **(Photo personnelle)**.

➢ **Semis et entretien :** Le semis a été réalisé le lendemain de la préparation des pots. Douze (12) graines de blé ont été semées dans chaque pot à une profondeur homogène d'environ 2 cm .L'irrigation a été assurée à raison de deux apports par semaine. La levée a été homogène dans l'ensemble des pots. Les mauvaises herbes ont été éliminées manuellement. L'essai a été soumis aux variations climatiques naturelles et aux vents de la région**.( Figure 07)**

- **Application du traitement liquide (Jus de compost):** Au cours du cycle végétatif, aux stades clés du tallage et de la montaison, 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 (**Figure 08**), en utilisant une dose diluée à 50 ml par litre d'eau.



**Figure 07 :** Semis des graines du blé dur dans les pots **(Photo personnelle)**.



**Figure 08 :** Application du biofertilisant liquide **(Photo personnelle)**.

**Tableau 04 : Modalités et méthodes d'application des traitements.**

| Type de produit | Doses étudiées | Méthode et stades d'application |
|---|---|---|
| **Biofertilisant Solide** | $T_1$ : 1 % (10g/kg de sol soit 50g/ pot)<br>$T_2$ : 3 % (30g/kg de sol soit 150g/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 Tallage et Montaison. |

## 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 (09) .



**Figure (09)** : Photo représentative du profil.

❖ **Mesure du pH :**

Le pH des sols, qui traduit l'acidité des sols s'échelonne de 1 à 14, il nous renseigne sur la nature des roches sur lesquelles s'est formé le sol. Le pH (abréviation de "potentiel Hydrogène") indique un degré d'acidité (de 0 à 6,5) ou d'alcalinité (de 7,5 à 14) d'une solution, 7 indiquant la neutralité. (MAURICE, S)

**a. Matériel de pH :**

1-tamisés à 2 mm

2. 10 g des sols par chaque échantillon

3. pH-mètre

4. Bécher en 50 ml, par échantillon

5. Baguettes de verre

6. Éprouvette

7. Agitateur magnétique.

**b. Mode opératoire de pH :**

Dans un bêcher de 50 ml, peser 10g de terre fine à 0,01g prés et ajouter 25 ml (éprouvette) d'eau déminéralisée. Agiter durant 10 minutes (agitateur magnétique). Mesurer le pH (H2O). Il faut attendre la stabilité des chiffres donnés par l'appareil avant de faire la lecture. Les électrodes ne réagissent pas instantanément dans un tel milieu.

Photo 04 : pH mètre (photo original)

- **Mesure du la conductivité électrique (CE) :**

Le même protocole expérimental du dosage du pH est utilisé pour la détermination de la conductivité électrique en remplaçant le pH mètre par un conductimètre.

- **Analyse de matières organiques :**

La teneur en MO peut s'obtenir par la méthode de la perte au feu. Cette méthode est déconseillée pour les échantillons possédants beaucoup de calcaire. Le domaine d'étalonnage de cette méthode varie de 1 à 50% de MO (Fournier, 2012)

Mode opératoire :

L'échantillon de sol doit être broyé et tamisé à 2 mm pour cette méthode :

- Prendre le poids du creuset vide « Mo » ajouter 10 g de sol séché. Noter le poids final - Sécher l'échantillon de sol pendant une 24 h à l'étuve à 105 °c. Puis laisses refroidis au dessiccateur pendant du 10 minutes et noter le poids final (M1)

- Calciner le sol au four à moufle a 250 °c pendant 4h.

- Laisser refroidir dans un dessiccateur et peser le creuset contenant le sol calciné (M2).

- Calciner une autre fois le sol au four à moufle a 450 °c pendant 4h.

- Laisser refroidir dans un dessiccateur et peser le creuset contenant le sol calciné (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 20)**.

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 10** : 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

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 :

$$SF= (PF-SQ) / PQ$$

**• 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).

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

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

**• Longueur de col (cm)**

La longueur du col a été mesurée en centimètres, depuis la base du col jusqu'à la base de l'épi.

**• Longueur de l'épi avec barbes (cm)**

La longueur de l'épi avec barbes a été mesurée depuis la base de l'épi (premier article du rachis) jusqu'à l'extrémité supérieure des barbes.

**• Longueur de la plante (cm)**

La longueur de la plante a été mesurée à l'aide d'un ruban mètre, en prenant la distance entre le niveau du sol et le sommet de la plante.

**• Nombre d'épis**

Le nombre d'épis a été déterminé par comptage direct des épis formés sur chaque plante de blé dans chaque pot. Cette mesure a été réalisée à la fin du cycle de croissance, lorsque les épis étaient complètement développés et facilement identifiables. Elle permet d'évaluer le potentiel productif des plantes en fonction des différents traitements appliqués.

**• Nombre de grains par épi**

Le nombre de grains par épi a été déterminé par comptage manuel des grains contenus dans les épis récoltés.

**• Poids de 100 grains (PCG)**

Après la récolte, un échantillon de 100 grains a été prélevé dans chaque pot. Son poids a ensuite été déterminé à l'aide d'une balance de précision et exprimé en grammes (g).

**• Rendement théorique (g/pot)**

Le rendement théorique a été estimé à partir des composantes du rendement selon la formule suivante : Rendement par pot = (Nombre de plants/pot × nombre de grains/épi × poids de 100 grains) / 100

Les valeurs du nombre de grains par plante et du poids de 100 grains ont été déterminées après la récolte, puis utilisées pour le calcul du rendement théorique.

## 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

# 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 du blé dur (*Triticum durum* L.) et de l'orge (*Hordeum vulgare* 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 05**

**Tableau 05 :** Propriétés physico-chimiques de la terre témoin ($T_0$) avant traitement.

| Paramètres analytiques | Valeurs mesurées |
|---|---|
| pH (eau) | 6.61 |
| Conductivité Électrique (CE) ($\mu$S/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 $\mu$S/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 $\mu$S/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 ومقاومة ميكانيكية ضعيفة

## 2. Effet des biofertilisants sur les caractéristiques morphologiques et la production du blé dur et l'orge

### 2.1.Chlorophylle totale

La réponse physiologique mise en évidence par la **Figure n°11** indique une influence positive du biofertilisant sur l'activité photosynthétique des deux génotypes, particulièrement à la concentration maximale. Sous l'effet du traitement fort ($T_2$), les deux variétés atteignent leur performance optimale par rapport au témoin ($T_0$) : le blé dur **«Ammar 06»** ($V_2$) consolide sa supériorité absolue en enregistrant un taux d'augmentation de l'ordre de 7,89 % (la valeur maximale avoisinant 41), tandis que l'orge **«Fouara»** ($V_1$) affiche une progression régulière et linéaire culminant avec un taux d'augmentation de 12,28 % (la valeur passant de 28,5 à 32), en dépit d'une légère fluctuation intermédiaire observée chez le blé dur sous la dose $T_1$.

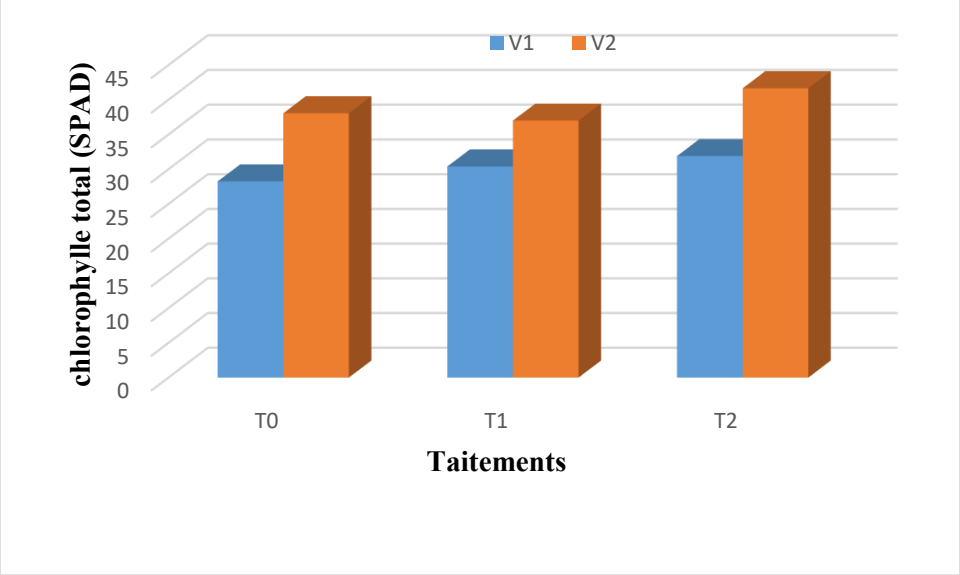



**Figure 11** : Effet des différentes doses du biofertilisant sur chlorophylle totale chez les deux variétés étudiées

L'analyse de la variance (ANOVA) de teneur en chlorophylle a, donne un résultat hautement significatif entre le traitement et le génotype, et un résultat non significatif entre interaction (var x trait ). **(Annexe 01)**

Le test NEWMAN-KEULS au seuil 5%, classe le facteur variété en deux groupe homogène A et groupe B. Le groupe (A) porte le. le génotype Ammar6 avec une moyenne générale maximale de 38.9 et deuxième groupe porte le génotype Fouara avec une moyenne générale de 30.18.

Le test NEWMAN-KEULS au seuil 5%, pour le facteur traitement en deux groupe homogène A et groupe B. Le groupe (A) porte le traitement T2 avec une moyenne générale de 36.78, et le groupe B porte les traitements suivants : T1 avec une moyenne générale de 33.70, T0 avec une moyenne générale de 33.16.

- **Discussion de la teneur en chlorophylle (CHLO)**

La synthèse des pigments photosynthétiques chez le blé dur et l'orge a été fortement stimulée sous le traitement **T2 (150)**. Ce phénomène s'explique par la richesse du complexe organique en magnésium ($Mg^{2+}$), en azote et en fer, des éléments fondamentaux pour la constitution et la stabilisation de la molécule de chlorophylle (Khaled & Fawy, 2011). L'absorption racinaire optimisée active les voies enzymatiques de la biosynthèse pigmentaire. Ce statut nutritionnel supérieur préserve l'intégrité fonctionnelle des thylakoïdes au niveau des chloroplastes et prolonge la durée de vie active des feuilles (effet *stay-green*), ce qui corrobore les conclusions de **Aboelsoud et Ahmed (2020)** et s'accorde avec les mécanismes de persistance verte identifiés par **Touil (2026)**.

### 2.2. La surface foliaire (SF)

Les illustrations graphiques regroupées dans la **Figure n°12** mettent en évidence une divergence de comportement physiologique entre les deux génotypes face à l'application du biofertilisant. Sous l'effet du traitement maximal ($T_2$), les deux variétés affichent des variations distinctes par rapport au témoin ($T_0$) : l'orge **«Fouara»** ($V_1$) répond de manière linéaire et optimale en enregistrant un taux d'augmentation de 45,45 % (passant de 12,76 à 18,56), tandis que le blé dur **Ammar 06** ($V_2$) subit une inhibition de son extension foliaire, marquée par un taux de régression de -7,72 % (passant de 30,95 à 28,56), après avoir enregistré sa baisse la plus prononcée sous la dose $T_1$ (24,28

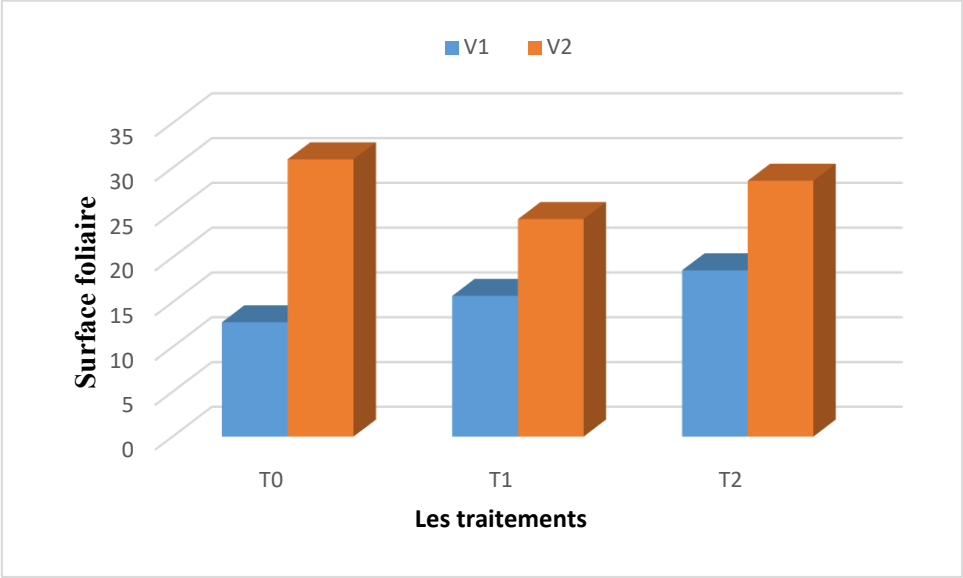



**Figure 12** : Effet des différentes doses du biofertilisant sur la surface foliaire chez les deux variétés étudiées

L'analyse de la variance (ANOVA) de la surface foliaire , donne un résultat significatif entre le génotype et non significatif entre le traitement et le facteur interaction (var x trait) **(Annexe 02)**

Le test NWEMAN-KEULS au seuil 5% pour le facteur variété indique deux groupes homogènes. Le premier groupe (A) porte le génotype Ammar 6 avec une moyenne générale de 27.93 $cm^2$. Le deuxième groupe (B) porte le génotype Fouara avec de moyenne générale 15.68 $cm^2$.

Le test de Newman-Keuls au seuil de 5% pour le facteur traitement indique un seul groupe homogène (A). Celui-ci comprend le témoin (T0) avec une moyenne générale de 21,86 $cm^2$, ainsi que les traitements T1 et T2 avec des moyennes générales respectives de 19,99 $cm^2$ et 23,57 $cm^2$.

- **Discussion de la surface foliaire (SF)**

L'expansion du limbe foliaire chez le blé dur et l'orge montre une dynamique ascendante proportionnelle à la concentration du complexe organique. Le développement optimal de la surface foliaire (SF) sous le traitement **T2 (150)** est attribué à la capacité du **biochar** à restructurer le milieu racinaire en augmentant sa porosité et sa capacité de rétention en eau **(Glaser et al., 2002).** Ce réseau hydrique stable protège le potentiel de turgor des cellules foliaires, tandis que la minéralisation progressive du **compost** et du **fumier** fournit un flux

carboné et azoté stable (Khaled & Fawy, 2011). Physiologiquement, cela favorise l'initiation de nouveaux primordia foliaires et accélère le taux d'expansion cellulaire, maximisant ainsi la capacité d'interception du rayonnement global, ce qui est en parfait accord avec les résultats de **Aboelsoud et Ahmed (2020)** et **Touil (2026)**.

### 2.3.Teneur Relative en Eau (TRE)

On remarque que la teneur relative en eau illustrée par la **Figure n°13** révèle une amélioration de l'état hydrique des tissus chez les deux génotypes sous l'effet du biofertilisant, évoluant de manière globale et progressive. À la concentration maximale ($T_2$), les deux variétés affichent des taux de progression distincts par rapport au témoin ($T_0$) : l'orge **«Fouara»** ($V_1$) se distingue par une réponse hautement positive et linéaire, enregistrant un taux d'augmentation remarquable de 63,65 % (passant de 50,51 à 82,66), tandis que le blé dur **«Ammar 06»** ($V_2$) maintient une évolution plus modérée de 1,27 % (passant de 82,95 à 84,00), ce dernier ayant développé son pic hydrique optimal plutôt sous la dose réduite $T_1$ (+7,90 %).

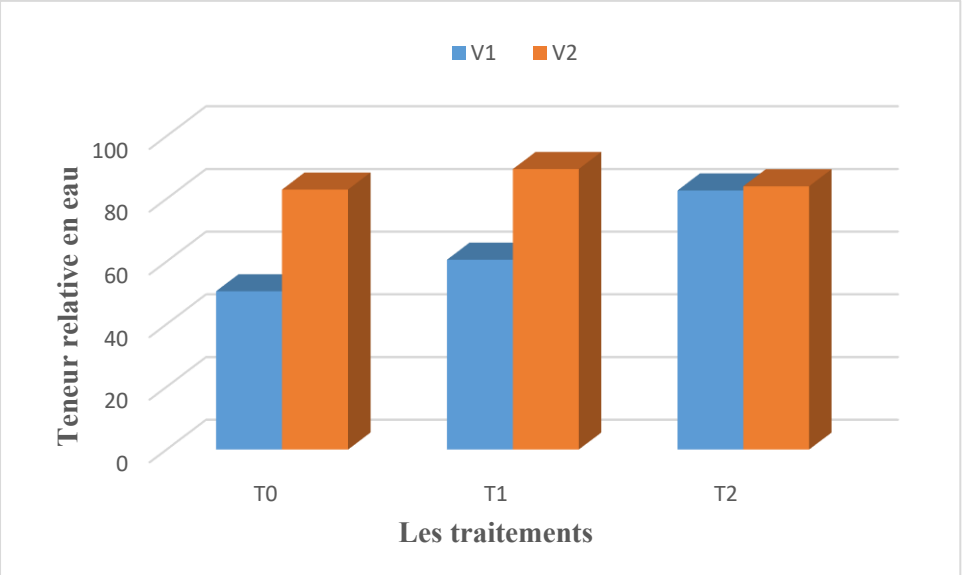



**Figure 13**: Effet des différentes doses du biofertilisant sur la teneur relative en eau chez les deux variétés étudiées

L'analyse de la variance (ANOVA) de la teneur en eau , donne un résultat significatif entre le génotype et non significatif entre le traitement et le facteur interaction (var x trait) **(Annexe 0 3)**

Le test NWEMAN-KEULS au seuil 5% pour le facteur variété indique deux groupes homogènes. Le premier groupe (A) porte le génotype Ammar 6 avec une moyenne générale de

85.48%. Le deuxième groupe (B) porte le génotype Fouara avec de moyenne générale 64.58%.

Le test de Newman-Keuls au seuil de 5% pour le facteur traitement indique un seul groupe homogène (A). Celui-ci comprend le témoin (T0) avec une moyenne générale de 66.73%, ainsi que les traitements T1 et T2 avec des moyennes générales respectives de 75.03% et 83.33%.

❖ **Discussion du statut hydrique de la plante (TRE %)**

Le maintien d'un statut hydrique optimal, traduit par des valeurs élevées de la Teneur Relative en Eau (TRE) sous le traitement **T2 (150)**, met en évidence l'effet protecteur du **biochar** agissant comme un réservoir d'eau au sein du substrat **(Glaser et al., 2002).** Parallèlement, l'accumulation d'acides humiques provenant du **compost** et du **fumier** améliore la structure poreuse du sol, limitant ainsi les pertes par évaporation directe (**Khaled & Fawy, 2011)**. Au niveau cellulaire, les solutés organiques apportés par le **jus de compost** induisent un ajustement osmotique efficace, permettant aux cellules foliaires de conserver leur **turgescence** et de réguler l'ouverture stomatique sans perturber le métabolisme, ce qui est en parfait accord avec les conclusions de **Aboelsoud & Ahmed (2020)** et les observations de **Touil (2026)**.

**2.4.Longueur de la tige**

L'histogramme présenté dans la **Figure n°014** met en relief une stimulation remarquable de la croissance végétative à travers l'élongation de la tige chez les deux génotypes, et ce, dès la première concentration ($T_1$). L'application de la dose maximale ($T_2$) se traduit par une optimisation structurelle majeure par rapport au témoin ($T_0$) : l'orge **«Fouara»** ($V_1$) affiche un taux d'augmentation impressionnant de 46,96 % (passant de 30,77 à 45,22), suivi par le blé dur **«Ammar 06»** ($V_2$) qui enregistre un taux d'augmentation de 20,50 % (passant de 46,09 à 55,54).

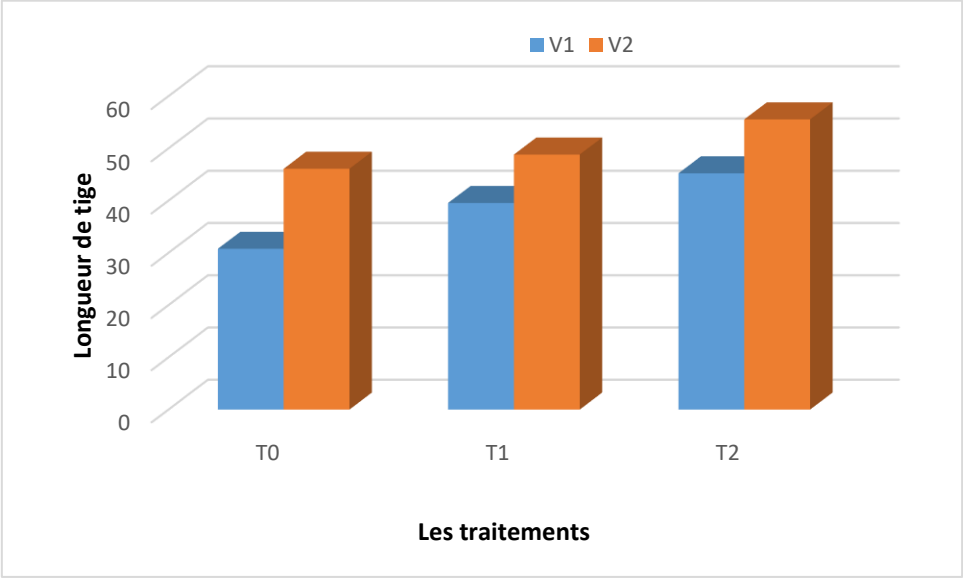



**Figure 14** : Effet des différentes doses du biofertilisant sur la longueur de tige grains chez les deux variétés étudiées

L'analyse de la variance (ANOVA) de la longueur de tige révèle un effet hautement significatif pour le facteur génotype (variété) et un effet significatif pour le facteur traitement. En revanche, l'interaction (variété × traitement) s'avère non significative **(Annexe 04).**

Le test NWEMAN-KEULS au seuil 5% pour le facteur variété indique deux groupes homogènes. Le premier groupe (A) porte le génotype Ammar 6 avec une moyenne générale de 50.14 cm. Le deuxième groupe (B) porte le génotype Fouara avec de moyenne générale 38.51 cm.

Le test de Newman-Keuls au seuil de 5% pour le facteur traitement indique trois groupes homogènes distincts. Le premier groupe (A) comprend le traitement T2 avec une moyenne générale de 50,38 cm. Le deuxième groupe (B) correspond au traitement T1 avec une moyenne générale de 44,18 cm. Enfin, le troisième groupe (C) regroupe le témoin T0 avec une moyenne générale de 38,44 cm.

- **Discussion de la longueur de la tige (LT)**

"L'allongement de la tige chez le blé dur et l'orge a révélé une amélioration hautement significative sous l'effet des traitements appliqués, l'effet maximal étant atteint sous la dose élevée **T2 (150)**. Cette réponse morphologique positive s'explique par la libération synchrone et continue de l'azote ($N$), du phosphore ($P$) et du potassium ($K$) à partir de la matrice solide du biofertilisant integrated (Khaled & Fawy, 2011). Sur le plan fysiologique, l'apport d'azote

stimule la synthèse des phytohormones (notamment les gibbérellines) qui régissent l'élongation cellulaire et la division active au niveau des méristèmes intercalaires des graminées (Khaled & Fawy, 2011). De plus, l'action biostimulante de la fraction liquide (**jus de compost**) fournit des micro-éléments essentiels qui soutiennent cette dynamique de croissance verticale, ce qui corrobore les observations de **Aboelsoud et Ahmed (2020)** et s'aligne avec les données locales de **Touil (2026)**."

### 2.5.Longueur du col de l'épi

La Figure illustrée **n°015** montre que la longueur du col de l'épi a évolué positivement à partir de la concentration ($T_1$). Sous l'effet du traitement maximal ($T_2$), les deux variétés affichent une nette amélioration structurelle par rapport au témoin ($T_0$) : le blé dur **«Ammar 06»** ($V_2$) enregistre un taux d'augmentation de 36,30 % (passant de 13,94 à 19,00), suivi par l'orge **«Fouara»** ($V_1$) avec un taux d'augmentation de 20,55 % (passant de 12,99 à 15,66).

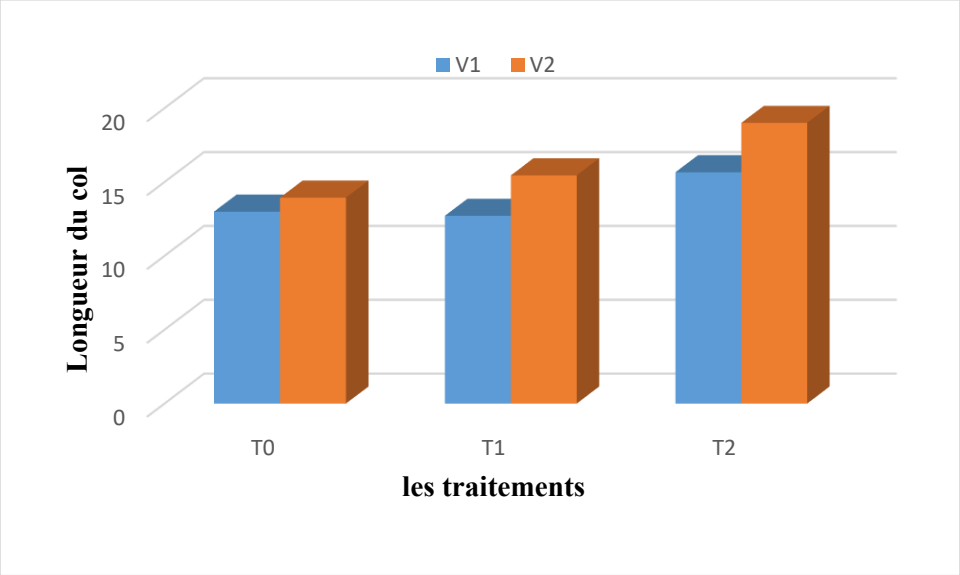



**Figure 15** : Effet des différentes doses du biofertilisant sur la langueur de col chez les deux variétés étudiées

L'analyse de la variance (ANOVA) de la la langueur de col , donne un résultat significatif entre le génotype et le traitement et nom significatif entre interaction (var x trait) **(Annexe 0 5)**

Le test NWEMAN-KEULS au seuil 5% pour le facteur variété indique deux groupes homogènes. Le premier groupe (A) porte le génotype Ammar 6 avec une moyenne générale de 16.13 cm. Le deuxième groupe (B) porte le génotype Fouara avec de moyenne générale 13.79 cm.

Le test NEWMAN-KEULS au seuil 5%, pour le facteur traitement indique deux groupe homogènes . Le groupe (A) porte le traitement T2 avec une moyenne générale de 17.33cm . En revanche, le deuxième groupe (B) regroupe les traitements T1 et T0 avec des moyennes générales respectives de 14,08 cm et 13,47 cm.

- **Discussion de la longueur du col de l'épi**

La longueur du col de l'épi, représentant l'entre-nœud terminal chez les céréales, a augmenté de manière significative sous la dose **T2 (150)**. Sur le plan fysiologique, ce paramètre dépend des réserves carbonées cumulées et de l'efficience nutritionnelle tardive au moment de la montaison (Khaled & Fawy, 2011). L'interaction positive entre la matrice solide et l'irrigation par le **jus de compost** fournit un flux ininterrompu de macro et micro-éléments. Cela soutient l'activité enzymatique et la plasticité cellulaire de la tige supérieure. Un col de l'épi allongé constitue un avantage agronomique majeur en éloignant l'épi des zones ombragées et en facilitant la translocation active des assimilats métaboliques, validant ainsi les mécanismes décrits par **Aboelsoud et Ahmed (2020)**.

### 2.6.Longueur de l'épi avec barbe

Les données de la **Figure n°16** révèlent que l'application du biofertilisant a induit un taux d'augmentation remarquable de la longueur de la barbe chez les deux génotypes étudiés par rapport au témoin ($T_0$).

Ce taux d'augmentation a atteint son maximum sous l'effet de la dose la plus forte ($T_2$), affichant une progression nette de 20,02 % pour l'orge **«Fouara»** ($V_1$) (la valeur s'élevant de 16,33 à 19,60) et une hausse de 18,51 % pour le blé dur **«Ammar 06»** ($V_2$) (la valeur passant de 15,50 à 18,37).

Ces résultats mettent en évidence que la stimulation de l'élongation morphologique a été amorcée de manière initiale dès la dose réduite ($T_1$), bien que l'optimisation structurale absolue reste strictement liée à l'apport de la concentration maximale ($T_2$).

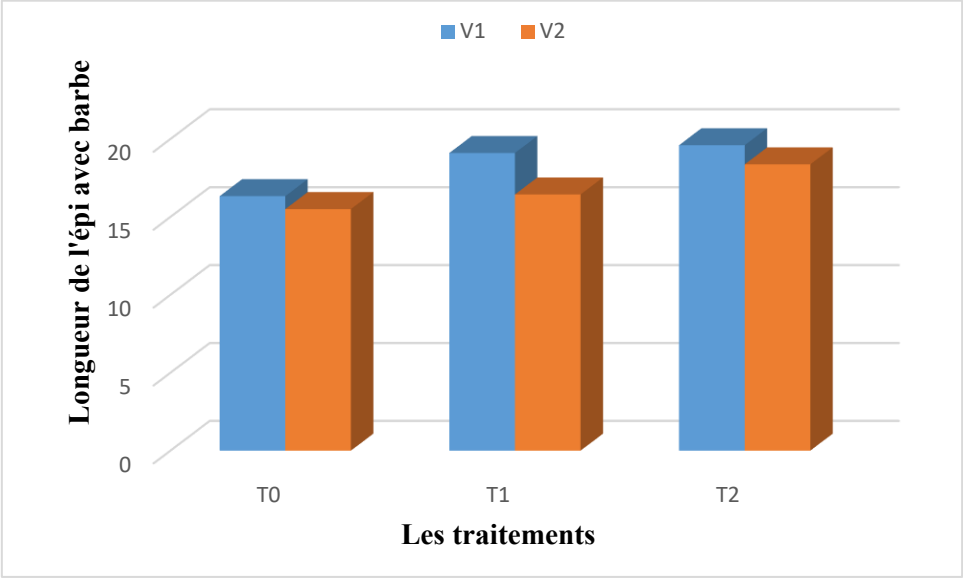



**Figure 16** : Effet des différentes doses du biofertilisant sur la langueur d'épi avec barbe chez les deux variétés étudiées

L'analyse de la variance (ANOVA) de la langueur d'épi avec barbe, donne un résultat significatif entre le génotype et le traitement et nom significatif entre interaction (var x trait) **(Annexe 0 6)**

Le test NWEMAN-KEULS au seuil 5% pour le facteur variété indique deux groupes homogènes. Le premier groupe (A) porte le génotype Fouara avec une moyenne générale de 18.34 cm. Le deuxième groupe (B) porte le génotype Ammar6 avec de moyenne générale 16.77 cm.

Le test NEWMAN-KEULS au seuil 5%, pour le facteur traitement indique deux groupe homogènes . Le premier groupe (A) regroupe les traitements T2 et T1 avec des moyennes générales respectives de 18.99cm et 17.77cm. En revanche, le deuxième groupe (B) regroupe le traitement T0 avec la moyenne générale de 15.91 cm.

- **Discussion de la longueur de l'épi**

La longueur de l'épi est une composante structurale majeure du rendement. Son allongement maximal sous la dose **T2 (150)** indique que la surfertilisation organique raisonnée a fourni une nutrition phosphorée et azotée optimale au moment de la différenciation du sommet végétatif en épi (Steiner et al., 2007). Le phosphore et le potassium libérés progressivement par le **compost** (Khaled & Fawy, 2011), associés à la haute capacité d'échange cationique induite par le **biochar** (Glaser et al., 2002), stimulent la croissance du rachis. Sur le plan statistique, la

non-significativité de l'interaction (V × T) suggère que le blé dur et l'orge répondent avec la même plasticité morphologique à cette formule, corroborant l'homogénéité variétale face à la fertilisation décrite par **Brahmia et Klai**.

### 2.7.Nombre de graines par épi

Les données de la **Figure n°17** révèlent que l'application du biofertilisant a induit un taux d'augmentation très marqué du nombre de grains par épi chez les deux génotypes étudiés par rapport au témoin ($T_0$).

Ce taux d'augmentation a atteint son apogée sous l'effet de la dose la plus forte ($T_2$), affichant une progression remarquable de 61,28 % pour l'orge **«Fouara»** ($V_1$) (la valeur moyenne s'élevant de 10,33 à 16,66) et une hausse de 81,60 % pour le blé dur **«Ammar 06»** ($V_2$) (la valeur passant de 21,69 à 39,39).

Ces résultats morphologiques mettent en évidence que la stimulation du rendement par épi a été amorcée de manière progressive dès la dose réduite ($T_1$) (avec des valeurs intermédiaires de 13,66 pour $V_1$ et 30,35 pour $V_2$), bien que l'optimisation quantitative absolue reste strictement corrélée à l'apport de la concentration maximale ($T_2$).

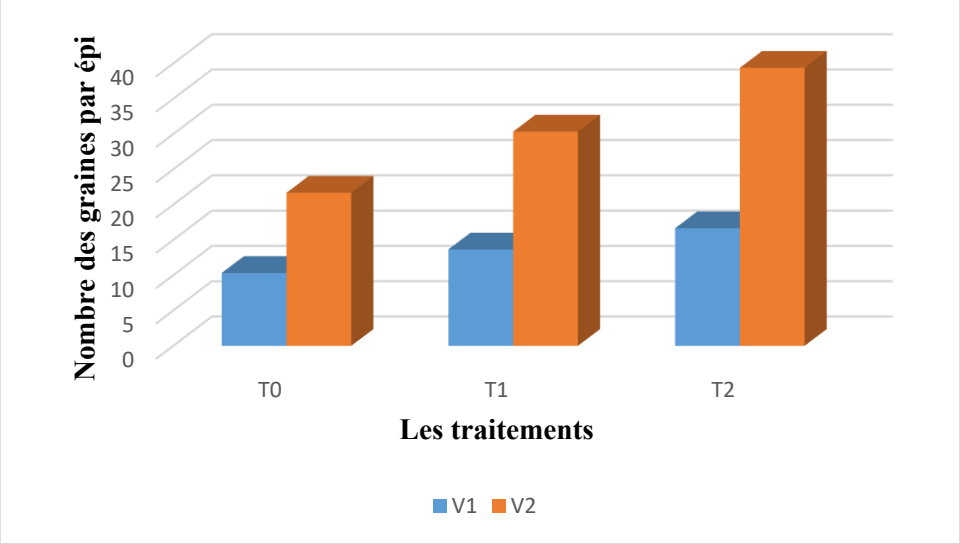



**Figure 17** : Effet des différentes doses du biofertilisant sur le nombre des graines par epi chez les deux variétés étudiées

L'analyse de la variance (ANOVA) de nombre des graines par epi, donne un résultat hautement significatif entre le génotype et le traitement et significatif entre interaction (var x trait) **(Annexe 07)**

Le test NWEMAN-KEULS au seuil 5% pour le facteur variété indique deux groupes homogènes. Le premier groupe (A) porte le génotype Ammar6 avec une moyenne générale de 30.48 . Le deuxième groupe (B) porte le génotype Fouara avec de moyenne générale 13.44 .

Le test de Newman-Keuls au seuil de 5% pour le facteur traitement indique trois groupes homogènes distincts. Le premier groupe (A) comprend le traitement T2 avec une moyenne générale de 27.86. Le deuxième groupe (B) correspond au traitement T1 avec une moyenne générale de 22.01. Enfin, le troisième groupe (C) regroupe le témoin T0 avec une moyenne générale de 16.01.

### 2.8.Nombre d'epis

Les données de la **Figure n°18** révèlent que l'effet du biofertilisant sur le nombre d'épis varie selon le génotype, montrant une réponse initiale dès la dose réduite ($T_1$). Sous l'effet du traitement maximal ($T_2$), les deux variétés affichent des comportements opposés par rapport au témoin ($T_0$) : l'orge **«Fouara»** ($V_1$) enregistre un taux d'augmentation de 9,98 % (passant de 13,33 à 14,66), tandis que le blé dur **«Ammar 06»** ($V_2$) subit une régression de -3,96 % (passant de 8,33 à 8), ce dernier ayant marqué son optimum morphologique plutôt sous la dose $T_1$ (+12,00 %).

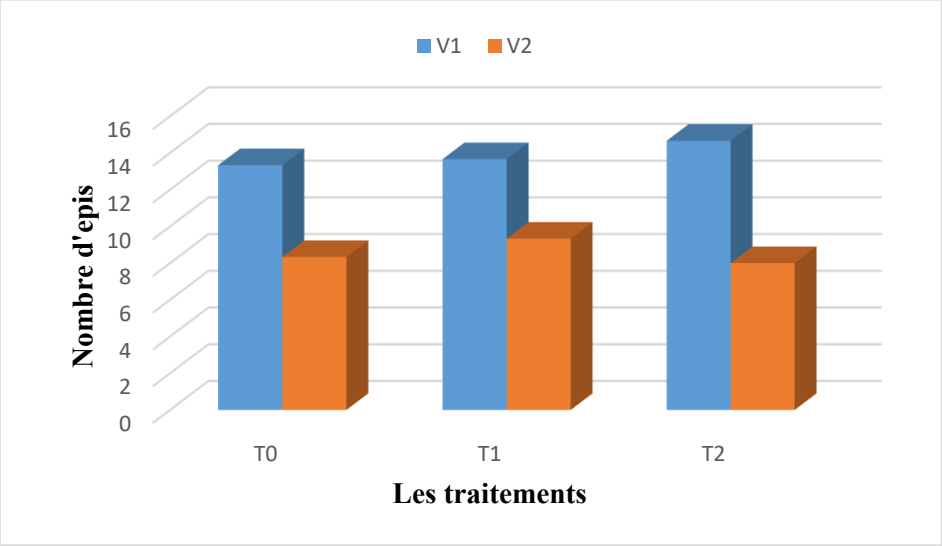



**Figure 18** : Effet des différentes doses du biofertilisant sur le nombre d'epi chez les deux variétés étudiées

L'analyse de la variance (ANOVA) de nombre d'epi, donne un résultat hautment significatif entre le génotype et non significatif entre le traitement et le facteur interaction (var x trait) **(Annexe 08)**

Le test NWEMAN-KEULS au seuil 5% pour le facteur variété indique deux groupes homogènes. Le premier groupe (A) porte le génotype Fouara avec une moyenne générale de 13.88. Le deuxième groupe (B) porte le génotype Ammar avec de moyenne générale 8.55.

Le test de Newman-Keuls au seuil de 5% pour le facteur traitement indique un seul groupe homogène (A). Celui-ci comprend le témoin (T0) avec une moyenne générale de 10.83, ainsi que les traitements T1 et T2 avec des moyennes générales respectives de 11.50 et 11.33.

### 2.9.Poids de 100g :

Les résultats du **Figure n° 19** montrent que le poids de 100 grains a enregistré une amélioration initiale sous l'effet de la dose réduite **($T_1$)**, mais c'est la concentration supérieure **($T_2$)** qui a induit l'efficacité maximale, affichant un taux d'augmentation final de **19,39 %** pour l'orge **«Fouara»** ($V_1$) et de **21,23 %** pour le blé dur **«Ammar 06»** ($V_2$) par rapport au témoin.

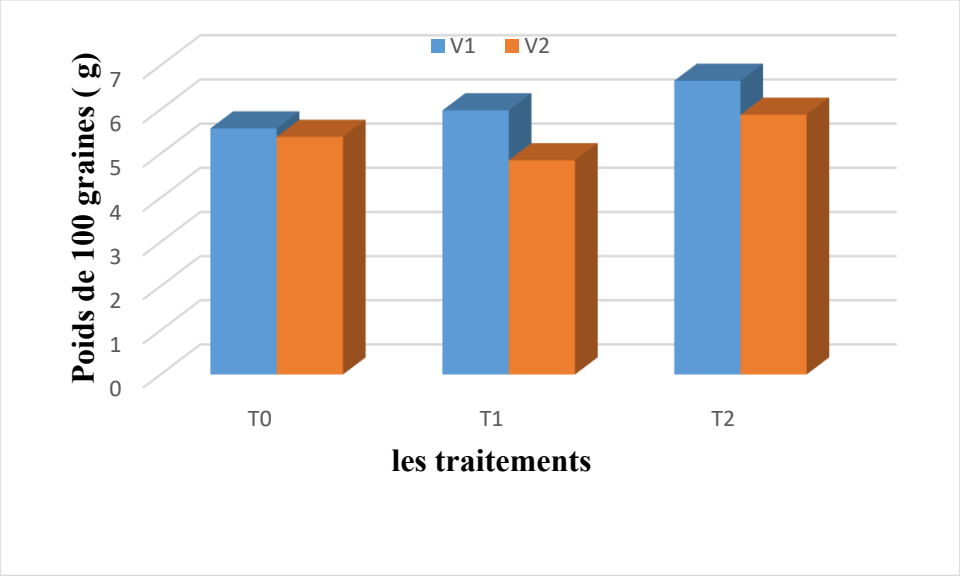



**Figure 19** : Effet des différentes doses du biofertilisant sur le poids de 100 grains chez les deux variétés étudiées

L'analyse de la variance (ANOVA) sur le poids de 100 grains, donne un résultat significatif entre le génotype et le traitement et nom significatif entre interaction (var x trait) **(Annexe 09)**

Le test NWEMAN-KEULS au seuil 5% pour le facteur variété indique deux groupes homogènes. Le premier groupe (A) porte le génotype Fouara avec une moyenne générale de 6.07. Le deuxième groupe (B) porte le génotype Ammar6 avec de moyenne générale 5.22.

Le test NEWMAN-KEULS au seuil 5%, pour le facteur traitement indique deux groupe homogènes . Le premier groupe (A) regroupe le traitement T2 avec la moyenne générale de 6.03. En revanche, le deuxième groupe (B) regroupe les traitements T0 et T1 avec des moyennes générales respectives de 5.48 et 5.42.

### 2.10.Le rendement

On remarque que le rendement illustré par la **Figure n°20** montre une stimulation remarquable et hautement significative chez les deux cultures, évoluant de manière strictement linéaire et progressive. Sous l'effet du traitement maximal ($T_2$), une amélioration quantitative majeure est enregistrée pour les deux génotypes par rapport au témoin ($T_0$) : l'orge **«Fouara»** ($V_1$) se distingue par un taux d'augmentation exceptionnel de 94,14 % (passant de 7,68 à 14,91), suivi de près par le blé dur **«Ammar 06»** ($V_2$) qui affiche à son tour un taux d'augmentation très rigoureux de 71,69 % (passant de 9,89 à 16,98).

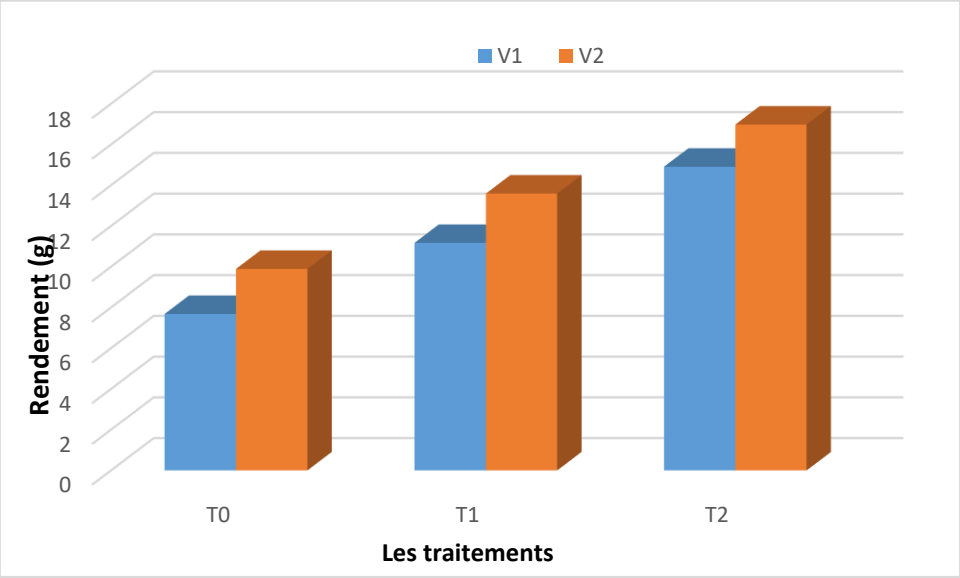



**Figure 20** : Effet des différentes doses du biofertilisant sur le rendement chez les deux variétés étudiées

L'analyse de la variance (ANOVA) de rendement, donne un résultat non significatif entre le génotype et l' interaction (var x trait) et significatif entre le traitement **(Annexe 10)**

Le test NWEMAN-KEULS au seuil 5% pour le facteur variété indique deux groupes homogènes. Le premier groupe (A) porte le génotype Fouara avec une moyenne générale de 13.48 . Le deuxième groupe (B) porte le génotype Ammar6 avec de moyenne générale 11.25 .

Le test de Newman-Keuls au seuil de 5% pour le facteur traitement indique trois groupes homogènes distincts. Le premier groupe (A) comprend le traitement T1 avec une moyenne générale de 12.83. Le deuxième groupe (B) correspond au traitement T2 avec une moyenne générale de 15.94. Enfin, le troisième groupe (C) regroupe le témoin T0 avec une moyenne générale de 8.79.

- **Discussion globale du rendement et de la productivité**

L'amélioration remarquable du rendement en grains par pot, maximisée sous le traitement **T2 (150)**, confirme **l'effet synergique** de cette association organique (**Biochar + Compost + Fumier + Jus de compost**). Ce système garantit un approvisionnement nutritif continu qui prolonge la phase de remplissage des grains en optimisant la translocation des photosynthétats vers les puits reproducteurs (Steiner et al., 2007). Ce comportement productif valide les mécanismes d'amélioration céréalière décrits par **Aboelsoud et Ahmed (2020)** via l'optimisation pédo-végétale (Glaser et al., 2002 ; Khaled & Fawy, 2011).

Par ailleurs, l'analyse de la variance (ANOVA) a révélé un effet hautement significatif du facteur variété, le génotype Fouara (13,48) surpassant le génotype Ammar6 (11,25). Cette divergence s'explique par des facteurs génétiques intrinsèques liés à l'efficience de l'utilisation des nutriments (NUE) et à la capacité d'ajustement morpho-physiologique propre à chaque variété. Bien que **Brahmia et Klai** aient observé une homogénéité entre certaines variétés, la supériorité phénotypique de Fouara démontre sa haute aptitude génétique à valoriser les amendements organiques denses en milieu confiné, ce qui s'accorde avec les variabilités de rendement documentées par **Touil (2026)**.

# CONCLUSION

# Conclusion

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 céréaliers. L'expérimentation a été conduite en pots sous serre et au laboratoire du Département 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. L'objectif principal était d'évaluer et de comparer l'impact d'un biofertilisant organique solide amélioré, développé l'année dernière par une jeune entreprise innovante (**Start-up**), combiné à une application complémentaire de biofertilisant liquide (**jus de compost**), sur la stimulation de la croissance et de la productivité de deux espèces de céréales stratégiques : le blé dur (***Triticum durum*** **L., variété « Ammar 6 »**) et l'orge (***Hordeum vulgare*** **L., variété « Fouara »**). 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 ($\boldsymbol{T_0 = 0}$ **g),** un premier traitement à une concentration de 1% ($\boldsymbol{T_1 = 50}$ **g**) et un traitement maximal à une concentration de 3% **(**$\boldsymbol{T_2 = 150}$ **g).**

Dans le cadre de ce travail, nous avons effectué des analyses rigoureuses sur le sol et sur la plante, et les résultats obtenus sont les suivants :

Concernant les analyses du sol, qui ont été réalisées exclusivement sur le sol témoin initial non traité ($T_0$) afin de caractériser le milieu d'origine, les résultats ont révélé des propriétés agronomiques favorables, se traduisant par un pH proche de la neutralité de **6,61**, une conductivité électrique très faible de **111,9** $\mu$S/cm, un taux de matière organique de **3,3 %**, un carbone organique de **1,88 %**, une capacité de rétention en eau de **56 %** et une densité apparente de **0,54** g/cm$^3$.

Concernant les analyses de la plante, les résultats de l'analyse de la variance (ANOVA) ont mis en évidence des réponses morpho-physiologiques et des composantes de rendement hautement significatives sous l'effet des facteurs étudiés. Pour les paramètres de croissance et de physiologie, l'application du traitement maximal (**T2**) a stimulé de manière optimale le développement végétatif en enregistrant les valeurs les plus élevées pour la longueur de la tige, la longueur du col de l'épi et l'indice de chlorophylle totale, confirmant l'efficacité du produit de la start-up associé au **jus de**

**compost**. Sur le plan génétique, le blé dur (*Ammar 6*) a manifesté une excellente efficacité physiologique pour la chlorophylle totale, la teneur relative en eau et la surface foliaire, tandis que l'orge (*Fouara*) a montré une nette supériorité pour la longueur de la tige.

Pour les paramètres de productivité, le traitement maximal (**T2**) a permis de maximiser le potentiel productif des cultures en enregistrant un **rendement final** moyen remarquable de **15,94** g/pot, suivi par le traitement $T_1$ avec **12,83** g/pot, alors que le témoin $T_0$ a marqué la valeur la plus faible avec **8,79** g/pot. Cette performance s'est également accompagnée d'une augmentation significative du nombre de grains par épi. L'analyse du facteur génotype a montré que l'orge (*Fouara*) était plus performante pour les composantes structurelles du rendement, affichant une moyenne générale de **13,48** contre **11,25** pour le blé dur (*Ammar 6*). Enfin, l'interaction statistique entre le génotype et le traitement s'est révélée non significative pour le rendement final, confirmant une réponse positive globale et uniforme des deux espèces céréalières vis-à-vis de ce programme de biofertilisation.

En résumé, l'utilisation conjointe de ce biofertilisant organique **solide** issu de la start-up et du **jus de compost** s'avère une solution technologique très prometteuse pour valoriser la croissance des cultures céréalières et maximiser le rendement final, offrant ainsi une alternative écologique viable pour une agriculture durable.

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

- Évaluation du biofertilisant en plein champ sous conditions réelles et stress environnementaux.
- Étude de l'effet résiduel sur la fertilité biologique, physique et chimique du sol à long terme.
- Test de ce programme de biofertilisation sur d'autres variétés locales (blé tendre, avoine).
- Évaluation de la rentabilité économique et du coût de production par rapport aux engrais chimiques.

# Références bibliographiques

## Références bibliographiques :


1. **Abdelguerfi, A., Laouar, M., & Abbas, K. (2018).** Les céréales en Algérie: Enjeux stratégiques et perspectives de développement pour la sécurité alimentaire. *Revue des Sciences Agronomiques*, 14(2), 45-58.
2. **Aboelsoud, H. M., & Ahmed, C. I. (2020).** Impact of integrated organic biofertilization on physiological traits, chlorophyll content, and grain yield of cereal crops under micro-pedological variations. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 183(4), 512-524.
3. **Atieno, M., Lesueur, D., & Herrmann, L. (2020).** Biofertilizers for sustainable agriculture: Benefits, challenges, and future perspectives. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20(3), 856-871.
4. **Bhattacharjee, R., & Dey, U. (2014).** Organic amendments and their role in soil physical and chemical properties enhancement. *International Journal of Agricultural Research*, 9(3), 132-145.
5. **Bonin, G. (2006).** Dynamique du compostage aérobique des déchets organiques et gestion de la biomasse végétale. *Éditions Tec & Doc*, Paris, France, 288 p.
6. **Bouzerzour, H., Hannachi, A., & Benmahammed, A. (2014).** Variabilité agro-climatique et performance des cultivars de blé dur et d'orge en zone semi-aride méditerranéenne. *Agriculture et Développement*, 11(1), 23-36.
7. **Brahmia, A., & Klai, S. (2022).** Évaluation de la stabilité phénotypique et de l'homogénéité variétale chez les céréales d'hiver sous l'effet de fertilisants organiques. *Syntèse: Revue des Sciences et de la Technologie*, 28(2), 114-125.
8. **Chennafi, H., Aidaoui, A., & Bouzerzour, H. (2011).** Analyse de la pluviométrie et son impact sur le rendement des grandes cultures dans les régions d'altitude de l'Est algérien. *Journal Algérien des Régions Arides (JARA)*, 10(2), 45-59.
9. **FAO. (2020).** Organic amendments and biofertilizers: A biotechnology alternative for modern agriculture. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, Rome, Italy.
10. **FAO. (2025).** Food Outlook: Global cereal supply, demand and production statistics (Wheat and Barley). *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, Rome, Italy.

11. **Glaser, B., Lehmann, J., & Zech, W. (2002).** Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal - a review. *Biology and Fertility of Soils*, 35(4), 219-230.
12. **Gobat, J. M., Aragno, M., & Matthey, W. (1998).** Le sol vivant: Bases de pédologie, biologie du sol. *Presses Polytechniques et Universitaires Romandes*, Lausanne, Suisse, 544 p.
13. **Gros, A. (1979).** Engrais: Guide pratique de la fertilisation, 7ème édition. *La Maison Rustique*, Paris, France, 415 p.
14. **Kalia, A., Sharma, S. P., & Kaur, H. (2020).** Soil biological health restoration under integrated biofertilization strategies in sustainable farming. *Applied Soil Ecology*, 152, 103-116.
15. **Khaled, A., & Fawy, H. A. (2011).** Effect of different levels of humic acids on the nutrient content, plant growth, and soil properties. *German Journal of Plant Nutrition*, 1(1), 1-8.
16. **Latati, M., Aouiche, A., & Tellah, S. (2019).** Érosion, aridification et dégradation progressive de la structure des sols céréaliers en Algérie: Réponses agronomiques. *Cahiers Agricultures*, 28(14), 1-10.
17. **Lehmann, J., & Joseph, S. (2015).** Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation, 2nd Edition. *Routledge, Earthscan*, London, UK, 944 p.
18. **MADR. (2025).** Statistiques de la production agricole et des récoltes céréalières en Algérie. *Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural*, Alger, Algérie.
19. **Mahrizi, M. (2007).** Aptitudes pédologiques et adaptation de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) aux sols marginaux et à faible fertilité. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques*, 27(1), 34-42.
20. **Mousli, S. (2006).** Tolérance de l'orge et du blé au stress hydrique: Réponses morpho-physiologiques durant les phases critiques du cycle de développement. *Options Méditerranéennes*, Série A, 72, 185-197.
21. **Musy, A., & Soutter, M. (1991).** Physique du sol. *Collection Gérer l'Environnement, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes*, Lausanne, Suisse, 275 p.
22. **Oulmi, A. (2015).** Besoins nutritionnels comparés du blé dur et de l'orge sous les conditions pédo-climatiques des hautes plaines de l'Est algérien. *Journal des Sciences Agronomiques*, 5(2), 89-98.

23. **Pravin, K., Singh, R. K., & Mishra, A. (2016).** Environmental impacts of chemical fertilizers vs bio-based organic amendments in sustainable agriculture. *Journal of Cleaner Production*, 115, 234-245.
24. **Richards, L. A. (1954).** Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. *Agriculture Handbook No. 60, USDA*, Washington, DC, USA, 160 p.
25. **Schvartz, C., Muller, J. C., & Decroux, J. (2005).** Guide de la fertilisation organique et minérale. *Éditions France Agricole*, Paris, France, 320 p.
26. **Sivasakthi, S., Kumar, P., & Sivakumar, U. (2023).** Multi-strain biofertilizers and liquid formulations for enhanced nutrient utilization efficiency in cereals. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 39(2), 54-68.
27. **Soltner, D. (2003).** Les bases de la production végétale: Tome I: Le Sol et son amélioration, 22ème édition. *Collection Sciences et Techniques Agricoles*, Angers, France, 472 p.
28. **Soltner, D. (2005).** Les bases de la production végétale: Tome I: Le Sol et son amélioration, 23ème édition. *Collection Sciences et Techniques Agricoles*, Angers, France, 476 p.
29. **Steiner, C., Teixeira, W. G., Lehmann, J., Nehls, T., de Macêdo, J. L. V., Blum, W. E., & Zech, W. (2007).** Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. *Plant and Soil*, 291(1-2), 275-290.
30. **Suhag, M. (2016).** Potential of biofertilizers to replace chemical fertilizers: A review. *International Journal of Environmental Science*, 7(2), 154-167.
31. **Touil, I. (2026).** Évaluation de la qualité d'un compost mixte (déchets ménagers, biochar, fumier bovin) et son impact sur les paramètres de croissance et de rendement du blé dur (*Triticum durum*). *Mémoire de Master*, Université 20 Août 1955 Skikda.
32. **USDA. (2025).** World Agricultural Production: Cereal supply and demand in North Africa. *United States Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service*, Circular Series.
33. **Van Zwieten, L., Kimber, S., Morris, S., Chan, K. Y., Downie, A., Rust, J., & Lukas, J. (2010).** Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plant and Soil*, 327(1), 235-246.

34. **Zohary, D., Hopf, M., & Weiss, E. (2012).** Domestication of Plants in the Old World: The origin and spread of domesticated plants in Southwest Asia, Europe, and the Mediterranean Basin, 4th Edition. *Oxford University Press*, Oxford, UK, 264 p.

# Annexe

# ANNEXES

**Analyse de la variance (ANOVA) pour les paramètres étudiés.**

**Tableau 01** : Analyse de la variance (ANOVA) pour la teneur en chlorophylle

| Source | DDL | Somme des carrés | Moyenne des carrés | F | Pr > F |
|---|---|---|---|---|---|
| Var | 1 | 342.696 | 342.696 | 180.219 | < 0,0001 |
| Trait | 2 | 45.854 | 22.927 | 12.057 | 0.001 |
| var*trait | 2 | 10.178 | 5.089 | 2.676 | 0.109 |

**Tableau 02** : Analyse de la variance (ANOVA) pour la surface foliaire.

| Source | DDL | Somme des carrés | Moyenne des carrés | F | Pr > F |
|---|---|---|---|---|---|
| Var | 1 | 675,404 | 675,404 | 41,076 | < 0,0001 |
| Trait | 2 | 38,258 | 19,129 | 1,163 | 0,345 |
| var*trait | 2 | 80,796 | 40,398 | 2,457 | 0,128 |

**Tableau 03** : Analyse de la variance (ANOVA) pour la teneur relative en eau (TRE)

| Source | DDL | Somme des carrés | Moyenne des carrés | F | Pr > F |
|---|---|---|---|---|---|
| Var | 1 | 1965,854 | 1965,854 | 6,068 | 0,030 |
| Trait | 2 | 826,680 | 413,340 | 1,276 | 0,314 |
| var*trait | 2 | 870,449 | 435,225 | 1,344 | 0,297 |

**Tableau 04** : Analyse de la variance (ANOVA) pour la longueur de la tige.

| Source | DDL | Somme des carrés | Moyenne des carrés | F | Pr > F |
|---|---|---|---|---|---|
| Var | 1 | 609,005 | 609,005 | 33,851 | < 0,0001 |
| Trait | 2 | 428,253 | 214,127 | 11,902 | 0,001 |
| var*trait | 2 | 31,484 | 15,742 | 0,875 | 0,442 |

**Tableau 05** Analyse de la variance (ANOVA) pour la longueur du col

| Source | DDL | Somme des carrés | Moyenne des carrés | F | Pr > F |
|---|---|---|---|---|---|
| Var | 1 | 24,664 | 24,664 | 8,955 | 0,011 |
| Trait | 2 | 51,616 | 25,808 | 9,370 | 0,004 |
| var*trait | 2 | 4,648 | 2,324 | 0,844 | 0,454 |

**Tableau 06:** Analyse de la variance (ANOVA) pour la longueur de l'épi avec barbe.

| Source | DDL | Somme des carrés | Moyenne des carrés | F | Pr > F |
|---|---|---|---|---|---|
| Var | 1 | 11,155 | 11,155 | 8,440 | 0,013 |
| Trait | 2 | 28,774 | 14,387 | 10,885 | 0,002 |
| var*trait | 2 | 2,806 | 1,403 | 1,062 | 0,376 |

**Tableau 07 :** Analyse de la variance (ANOVA) pour le nombre de grains par épi.

# ANNEXES

| Source | DDL | Somme des carrés | Moyenne des carrés | F | Pr > F |
|---|---|---|---|---|---|
| var | 1 | 1306,286 | 1306,286 | 175,740 | < 0,0001 |
| trait | 2 | 421,287 | 210,644 | 28,339 | < 0,0001 |
| var*trait | 2 | 102,945 | 51,472 | 6,925 | 0,010 |

**Tableau 08** : nalyse de la variance (ANOVA) pour le nombre d'épis.

| Source | DDL | Somme des carrés | Moyenne des carrés | F | Pr > F |
|---|---|---|---|---|---|
| var | 1 | 128,000 | 128,000 | 72,000 | < 0,0001 |
| trait | 2 | 1,444 | 0,722 | 0,406 | 0,675 |
| var*trait | 2 | 4,333 | 2,167 | 1,219 | 0,330 |

**Tableau 09** : Analyse de la variance (ANOVA) pour le poids de 100 grains.

| Source | DDL | Somme des carrés | Moyenne des carrés | F | Pr > F |
|---|---|---|---|---|---|
| var | 1 | 3,234 | 3,234 | 16,608 | 0,002 |
| trait | 2 | 1,395 | 0,698 | 3,583 | 0,060 |
| var*trait | 2 | 0,989 | 0,495 | 2,540 | 0,120 |

**Tableau 10** : Analyse de la variance (ANOVA) pour le rendement théorique.

| Source | DDL | Somme des carrés | Moyenne des carrés | F | Pr > F |
|---|---|---|---|---|---|
| var | 1 | 22,378 | 22,378 | 3,424 | 0,089 |
| trait | 2 | 153,726 | 76,863 | 11,760 | 0,001 |
| var*trait | 2 | 0,097 | 0,048 | 0,007 | 0,993 |

**Chalane Roukia** **Boudabza Nour Elimane** **Nehal Douaa**

**Titre:** Impact d'un biofertilisant amélioré sur la croissance et la productivité de certaines céréales sous différentes doses d'application

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

**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 céréaliers. L'objectif était d'évaluer l'impact d'un biofertilisant organique solide amélioré, développé l'année dernière par une Start-up, combiné à une application complémentaire de jus de compost, sur la croissance et la productivité de deux céréales : le blé dur (variété « Ammar 6 ») et l'orge (variété « Fouara »). L'expérimentation a été conduite en pots à l'Université de Skikda (2025-2026) en appliquant trois doses croissantes du biofertilisant : un témoin ($T0$ = 0 g ), un traitement à 1% ($T1$ = 50 g) et un traitement maximal à 3% ($T2$ = 150 g).

Les résultats de l'analyse de la variance (ANOVA) sur la plante ont montré des réponses morpho-physiologiques et productives hautement significatives. Le traitement maximal ($T2$) a stimulé de manière optimale le développement végétatif et a maximisé le potentiel productif en enregistrant un rendement final moyen remarquable de 15,94 g/pot, suivi par $T1$ (12,83 g/pot), tandis que le témoin $T0$ a marqué la valeur la plus faible (8,79 g/pot). Sur le plan génétique, l'orge s'est révélée plus performante pour les composantes structurelles (moyenne de 13,48 contre 11,25 pour le blé dur), bien que ce dernier ait manifesté une meilleure efficacité physiologique. Enfin, l'interaction statistique s'est révélée non significative pour le rendement final, confirmant une réponse positive globale et uniforme des deux cultures vis-à-vis de ce programme intégré de bio fertilisation.

**Mots-clés:** Blé dur (*Triticum durum* L.), Orge (*Hordeum vulgare* L.),Biofertilisant, Jus de compost, Doses d'apport, Rendement .

**Membre de Jury:**

| | | |
|---|---|---|
| Président: | Mr HAFSI .Z | 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
Département D' Agronomie
Réf : / D S AGRO/2026

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

Skikda le : 01/ 07/ 2026

# Autorisation de Dépôt de Mémoire de Master

Je soussigné(e) : **HAFSI Zakaria** Président(e) de Jury

Certifie que L'étudiant(e) : **CHAALAN Roukia**

Spécialité : **Amélioration des plantes**

Intitulé : Impact d'un biofertilisant amélioré sur la croissance et la productivité de certaines céréales sous différentes doses d'application

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
Département D' Agronomie
Réf : / D S AGRO/2026

Skikda le : 01/ 07/ 2026

# Autorisation de Dépôt de Mémoire de Master

Je soussigné(e) : **HAFSI Zakaria** Président(e) de Jury

Certifie que L'étudiant(e) : **BOUDABZA Nour El Imane**

Spécialité : **Amélioration des plantes**

Intitulé : Impact d'un biofertilisant amélioré sur la croissance et la productivité de certaines céréales sous différentes doses d'application

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
Département 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 : 01/ 07/ 2026

# Autorisation de Dépôt de Mémoire de Master

Je soussigné(e) : **HAFSI Zakaria** Président(e) de Jury

Certifie que L'étudiant(e) : **NEHAL Douaa**

Spécialité : **Amélioration des plantes**

Intitulé : Impact d'un biofertilisant amélioré sur la croissance et la productivité de certaines céréales sous différentes doses d'application

A apporté les corrections relatives à son travail de mémoire.

| Directeur de mémoire | Président(e) de Jury |
| --- | --- |
| | |